

毒彈炸學 第一冊

航空委員會訓練監編譯科編印

航空委員會參考書類編字第六二號
中華民國二十九年九月初版

0238

H34881

上海图书馆藏书



A541 212 0019 7466B

弁 言

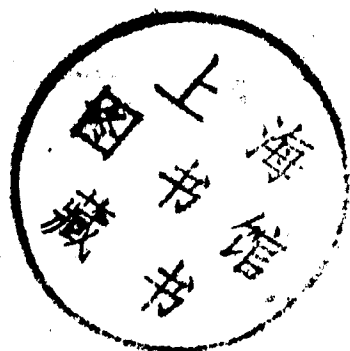
- 一、本書譯自一九三八年蘇聯出版之「轟炸學」，原著者為斯米爾諾夫君 (V. Smirnov)。
- 二、本書係專供空軍學校及部隊參考之用。
- 三、全書共分三冊：
 - 第一冊——水平飛行投彈之彈道學；
 - 第二冊——轟炸之技術；
 - 第三冊——炸彈之散佈及轟炸計算法。
 該三冊之內容，為一貫的，有系統的，前後多有聯繫之處，故以三冊並存為佳。
- 四、為便於閱讀起見，書中所有應用俄文字母處，均分別譯成英文。

A34881

登記號碼	C 129
Lfd. Nr.....	
管 碼	942
Fach Nr.....	

本書引用符號對照表

V	空速
U	風速
W	地速
V_{AV}	平均速度
V_0	初速
V_F	終速
V_{max}	炸彈之極限速度
V_b	在某時間內炸彈對空氣之速度
F	力量
m	體質
a	加速度
g	地心吸力之加速度 = 9.81 公尺/秒 ²
t	時間
T	在空氣中炸彈之下墜時間
T_0	在真空中 " " "
A	炸彈射程
A_0	在真空中之炸彈射程
φ	投彈角
φ_0	在真空中之投彈角
H	投彈高度
θ	炸彈之特徵時間
C	彈道係數
Δ	炸彈之退曳程
γ	退曳角
γ_0	退曳初角



δ	風向
ω	偏流角
\varnothing	彈着偏差
\varnothing°	彈着偏差角
C_x	炸彈之前面阻力係數
n	空氣之比重
n_0	在正常條件下(氣壓爲750mm溫度爲 $+15^\circ\text{C}$ 相對濕度爲50%時)地面空氣之比重 = 1.206 公斤/公尺 ³
ρ	空氣之密度
ρ_0	在正常條件下(同上)空氣之密度 = 0.123 公斤秒 ² /公尺 ⁴
R	空氣阻力以公斤計
R_x	空氣阻力之水平分力
R_y	空氣阻力之垂直分力
V_x	水平速度
V_y	垂直速度
a_x	水平加速度
a_y	垂直加速度
S	炸彈之最大橫斷面積以平方公尺 ² 計
K	= $C_x \times \rho$
P	炸彈之重量以公斤計
V_H	炸彈下墜平均速度
V_A	在炸彈下墜時間內炸彈對飛機之平均退曳速度
V_A	在靜氣中炸彈水平射程之平均速度
W_A	在動氣中炸彈水平射程之平均速度。

轟炸學目錄

第一冊

水平飛行投彈之彈道學

序言

第一章 在真空中投彈之彈道

- | | | |
|-----|--------|----|
| 第一節 | 自固定點投彈 | 10 |
| 第二節 | 自飛機上投彈 | 14 |

第二章 空氣阻力

- | | | |
|-----|--------------|----|
| 第三節 | 空氣之抵抗力量(阻力) | 22 |
| 第四節 | 空氣阻力對炸彈速度之影響 | 29 |
| 第五節 | 炸彈之彈道特性 | 35 |

第三章 在靜空氣中炸彈之彈道 (計算空氣之阻力)

- | | | |
|-----|--------------|----|
| 第六節 | 在靜空氣中炸彈彈道之原素 | 44 |
| 第七節 | 炸彈對飛機之彈道 | 55 |

第四章 在動空氣中炸彈之彈道

- | | | |
|-----|-----------------------|----|
| 第八節 | 在風向平面中投彈之彈道原素及航空算尺之應用 | 64 |
|-----|-----------------------|----|

第九節	T, Δ, λ, A 及 φ 諸值對 θ, H, V 及 W 諸值之關係	71
第十節	側風投彈之彈道諸原素	83
第十一節	彈道諸原素對風速及風角之關係	103

第五章 投彈角之動徑圖解

第十二節	炸彈運動之平均速度	114
第十三節	聯合測風儀	119

第一冊之結論

附錄一 在真空中下墜時間 t 。數值表

附錄二 $\frac{n}{110}$ 數值表

附錄三 θ, C 及 V_{\max} 相互關係表

附錄四 A $\pi-40$ 式炸彈 ($\theta=21$ 秒) 之教練用彈道表
，當 $V=$ 自 140 至 200 Km/h

附錄四 B $\pi-40$ 式炸彈 ($\theta=21$ 秒) 之教練用彈道表
，當 $V=$ 自 220 至 280 Km/h

附錄四 C $\pi-40$ 式炸彈 ($\theta=21$ 秒) 之教練用彈道表
，當 $V=$ 自 300 至 360 Km/h

附錄五 $\pi-25$ 式炸彈 ($\theta=21,3$ 秒) 之教練用彈道表

附錄六 $\pi-7$ 式炸彈 ($\theta=23$ 秒) 之教練用彈道表

附錄七 $\pi-25$ 式炸彈之平均下墜速度，退曳平均速

	度，及射程平均速度數值表
附錄八	$\pi-7$ 式炸彈之平均下墜速度，退曳平均速度及射程平均速度數值表

第一册 水平飛行投彈之彈道學

序 言

本書第一册所述爲初步空中投彈之彈道學，假定炸彈由飛機上投下時之情況如下：

- 一 飛機在等速等高水平直線飛行之情況下投彈；
- 二 實施投彈時，大空中之空氣，係在靜止狀態中，或隨投彈高度之風速及風向而移動。

爲了解空中彈道學起見，茲將力學中有關各點，擇述於下：

運動爲物體在空間位置之變動。

在力學上，運動可分爲絕對，相對及移動三種。

物體之運動，如與其他有條件不動之物體視爲相對時，謂之絕對運動。

在空中彈道學上，地面被認爲有條件之不動物體。故凡與地面視爲相對之運動，即稱爲絕對運動。

物體之運動，如與其他運動之物體視爲相對時，謂之相對運動。例如，領航員注視其所投下之炸彈時，則可見炸彈之相對運動，蓋其運動，係與移動之飛機相對者。

全體積之移動，如與在該體積內靜止或正在移動之物體同時進行時，謂之移動運動。換言之，即全體積移動，物體亦隨之移動。

例如，空間之空氣及在該空間中之飛機，因風吹而一齊

運動，即為移動運動。

由上可見，飛機之絕對運動(對地面言)，係飛機之相對運動(對空氣之全體積言)，與空氣本身之移動運動二者之結果，即地速 W 係空速 V 受風速 U 影響之結果。

凡運動之彈丸，其重心所經過之路線，謂之彈道。

本書所研究之問題，為飛機投彈之彈道學。

因此，彈道可分為：絕對彈道，即對地面之彈道，亦稱對地彈道；相對彈道，即對飛機之彈道，亦稱對機彈道；及對空氣之彈道，亦稱對空彈道。

當未特別述及彈道之相對性時，則所謂炸彈之彈道，常解為絕對彈道。

關於炸彈之運動，可分為直線運動，與曲線運動二種。

自飛機上投下之炸彈，係屬曲線運動，蓋以其彈道為曲線也。

物體在運動時，須經過某種行程，此行程以公里(Km)或公尺(m)計算之。

速度為物體在某單位時間內所經過之行程。速度用公里/時或公尺/秒計算之。

今設行程為 S ，速度為 V ，時間為 t ，則

$$V = \frac{S}{t} \quad (I)$$

按照速度之性質，運動可分為：等速運動及不等速運動或變速運動。

物體運動，在相等間隔時間內所經過之行程亦相等時，謂之等速運動。其公式為；

$$S = V \cdot t \quad (\text{II})$$

例題 飛機按平直飛行，速度 $V = 240$ 公里/時，經過行程之時間 t 爲三小時，試求其行程若干？

答案

$$S = V \cdot t = 240 \times 3 = 720 \text{ 公里}$$

物體運動，經過相當行程，而所需之時間不相等時，謂之變速運動。

變速運動之速度，可分爲在某間隔時間內之平均速度，及某一瞬間之速度(或在彈道上某點之速度)。

物體在某間隔時間內，如爲等速運動，所經過之行程，恰與變速運動時，在該間隔時間內所經過之行程相等時，則此等速運動之速度，謂之平均速度。

某間隔時間之平均速度，等於在該間隔時間內所經之全程，對該間隔時間之比。

如全程爲 S ，時間爲 t ，平均速度爲 V_{AV} (Average velocity)，則

$$V_{AV} = \frac{S}{t} \quad (\text{III})$$

例題 自南京至上海之列車，行駛時之速度，有時增加，有時減少，到站時又須停車，故該列車之運動，爲變速運動。設全程爲三百公里，經六小時可達，試求該列車之平均速度。

答案

$$V_{AV} = \frac{S}{t} = \frac{300}{6} = 50 \text{ 公里/時}$$

在某時(某點)之速度，亦爲行程對時間之比，惟其間隔

時間爲無限小而已。

變速運動，又可分爲等加速運動及等減速運動。

等加速運動，爲一種直線運動，在相等之間隔時間內，其速度之增加率相等。

等減速運動，亦爲一種直線運動，在相等之間隔時間內，其速度之減少率相等。

在此種運動形式下，每單位時間內，速度所生之變化（增加或減少），謂之加速度。故其單位，應爲速度之單位/時間之單位。當行程以公尺計，時間以秒時計，則加速度之單位應爲公尺/秒²。

物體運動，其加速度之數值與方向，不生變化時，謂之定加速運動（即等加速運動）；設其加速度之數值或方向發生變化時，則謂之變加速運動。

在等加速運動時，加速度之數值，爲某間隔時間內速度之變化值，對該時間之比。

例如，當某物體作等加速運動時，其速度在六秒鐘內，增加 42 公尺/秒，其加速度 a 爲：

$$a = \frac{42 \text{ 公尺/秒}}{6 \text{ 秒}} = 7 \text{ 公尺/秒}^2$$

設行程爲 S ，初速爲 V_0 ，加速度爲 a ，時間爲 t ，終速（經過時間 t 之後）爲 V_F (Final velocity)，如此可得等加速運動公式如下：

$$V_F = V_0 + at \quad (\text{IV})$$

$$V_{AV} = \frac{V_0 + V_F}{2} = \frac{V_0 + V_0 + a \cdot t}{2} = V_0 + \frac{a \cdot t}{2} \quad (\text{V})$$

$$S = V_{AV} \times t = \left(V_0 + \frac{a \cdot t}{2} \right) \times t = V_0 \times t + \frac{at^2}{2} \quad (\text{VI})$$

此處應注意之點，為祇在等加速或等減速運動時，第(V)公式，方可應用，即平均速度等於初速與終速之和之半。

在變加速運動時，若應用此公式，則所得之 V_{AV} 將不正確。

例如：計算列車之平均速度，自南京至上海六小時內經過行程三百公里，答案為：

$$V_{FV} = 50 \text{ 公里/時}$$

火車自南京出發時，其初速 $V_0 = 0$ ，火車至上海停車時，其終速 V_{FV} 亦等於零。

在此種情況下，若用第(V)公式

$$V_{AV} = \frac{V_0 + V_F}{2}$$

$$\text{則得} \quad V_{AV} = \frac{0 + 0}{2} = 0$$

其不正確可知。蓋火車之運動為不均衡者，故不能採用第(V)公式。

設初速 $V_0 = 0$ 則應用下列公式

$$V_F = a \cdot t \quad (\text{VII})$$

$$V_{AV} = \frac{a \cdot t}{2} \quad (\text{VIII})$$

$$S = \frac{a \cdot t^2}{2} \quad (\text{IX})$$

例題一：設有一等加速運動之物體，其初速 $V_0 = 30$

公尺/秒，加速度 $a=2$ 公尺/秒²，試求經過十秒鐘後之終速與平均速度及其行程？

答案：

$$V_F = V_0 + a \cdot t = 30 + 2 \cdot 10 = 50 \text{ 公尺/秒}$$

$$V_{AV} = \frac{V_0 + V_F}{2} = \frac{30 + 50}{2} = 40 \text{ 公尺/秒}$$

$$S = V_{AV} \cdot t = 40 \cdot 10 = 400 \text{ 公尺}$$

例題二：設有一靜止之物體，自某時起開始等加速運動，其加速度

$$a = 10 \text{ 公尺/秒}^2$$

試求經過廿秒鐘後之終速，與在二十秒鐘內之行程。

答案：

$$V_F = a \cdot t = 10 \cdot 20 = 200 \text{ 公尺/秒}$$

$$S = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{10 \cdot 20^2}{2} = \frac{10 \cdot 400}{2} = 2000 \text{ 公尺}$$

在變加速運動中，其某瞬時間（在該彈襲某點上）之加速度，亦為其速度變化對時間之比例，惟其間隔時間，為無限小而已。

惰性者，為一切物體之特性，當無其他外力加諸其上時，能保持其靜止之狀態，或繼續其等速與直線之運動。

凡能引起物體作加速運動之原因，即能破壞其靜止狀態，或等速與直線之運動者，謂之力量。

力量常以公斤 (Kg) 計算。按照力學之定律，某物體之加速度，常與加諸該物體之力量成正比。

凡加諸物體之力量，對其所生加速度之比例，謂之物體之質量(減稱體質)；對於每種形體，此比例皆為定值。

力量，體質，與加速度之間之相互關係如下：

$$m = \frac{F}{a} \quad (\text{X})$$

F 為力量以公斤計算。

a 為加速度以公尺/秒²計算。

m 為體質以公斤·秒²/公尺計算。

$$a = \frac{F}{m} \quad (\text{IX})$$

$$F = a \cdot m \quad (\text{XII})$$

吸引物體向地心之力量，謂之地心吸力。地心吸力與物體之體質成正比例，與物體及地中心之距離之平方成反比例。

因在實際中之投彈，其投彈高度，與地球之半徑比較，異常渺小，(地球半徑約為六、四〇〇、〇〇〇公尺)，故地心吸力因不同高度而生之變化，其渺小實無法感覺，故多不計算之。

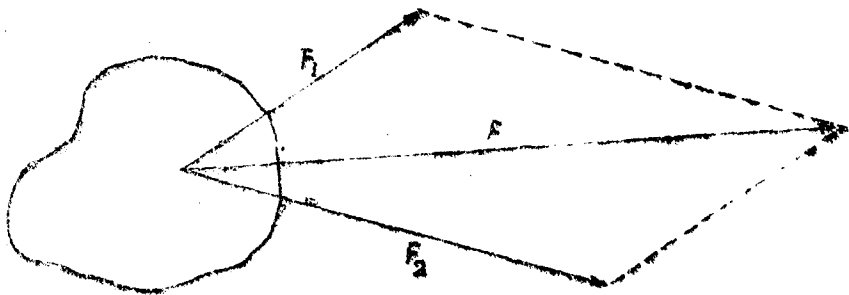
地心吸力之加速度——地心吸力與物體之質量成正比，而加速度則與力量成正比，與物體之質量成反比。故地心吸力之加速度，對於一切物體皆為不變量，不論其質量，形式，及體積如何。

地心吸力之加速度，與地心吸力同，傾向於地心。在真空中一切物體之下墜，均為等加速運動，於兩極時，其加速度為 9.83 公尺/秒²。

因地球自轉所生之離心力關係，愈近赤道，加速度愈減少。

在中緯度之加速度約等於 $9,81$ 公尺/秒²，而在赤道則為 $9,88$ 公尺/秒²。普通計算加速度時，常取 $g=9,81$ 公尺/秒²，如不求精確，則常應用 $g=9,8$ 公尺/秒²。

第 一 圖



力量，速度，與加速度，不但須計算其數量，且須觀察其動向，故稱之為有向量。在圖表上，則用動徑 (Vector) 表示之。

凡一直線，有起點及終點，並表明動向者，謂之動徑 (Vector)。動徑之長度，即用以表示有向量之數值，其比例尺可隨意選擇之。動徑之方向，即用以表示有向量之方向。動徑之起點，稱之為動徑附着點。

如在一點上，附着兩個力量， F_1 及 F_2 (第一圖)，則根據物理學合力之理，可相加而成為一合力 F 。

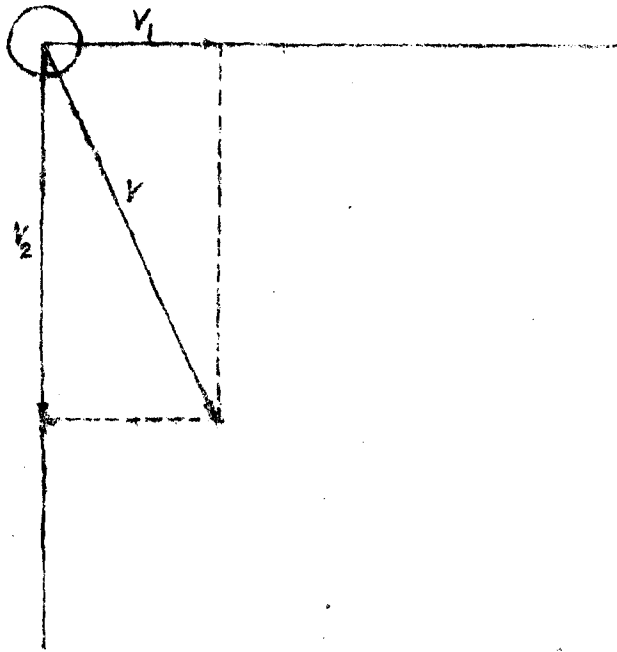
同理，速度與加速度，亦均可各自相加，而成為一合速度或合加速度。

此處應注意者，乃只有同類之動徑量，方能相加。例如

兩個速度，或兩個力量，皆可相加，但無論如何不能將力量之動徑與速度之動徑，或與加速度之動徑相加。

根據物理學分力之理，一個動徑，可分為兩部份：

第 二 圖



例如：(第二圖)設一傾斜之動徑表示速度 V ，該速度 V 可分為兩個組成部份： V_1 為水平之速度及 V_2 為垂直之速度。

第一章 在真空中投彈之彈道學

第一節 自固定點投彈

在真空中，炸彈自固定點投下，例如，自繫留汽球投下，(第三圖)。因僅受地心吸力之作用成垂直線下墜。在此種情況下，炸彈下墜速度之增加，必與下墜時間成正比例。

因炸彈之初速等於零，如地心吸力之加速度，以 $g=9,8$ 公尺/秒² 計，則在第一秒鐘末，炸彈之速度，等於

$$g \times 1 = 9,8 \times 1 = 9,8 \text{公尺/秒}$$

第二秒鐘末炸彈之速度等於：

$$g \times 2 = 9,8 \times 2 = 19,6 \text{公尺/秒}$$

在第三秒鐘末炸彈之速度等於：

$$g \times 3 = 9,8 \times 3 = 29,4 \text{公尺/秒}$$

總而言之，即在時間 t 秒末時，炸彈之速度，將等於

$$g \times t \text{公尺/秒}$$

在此種情況下，炸彈之彈道為垂直線，炸彈之運動為等加速運動。

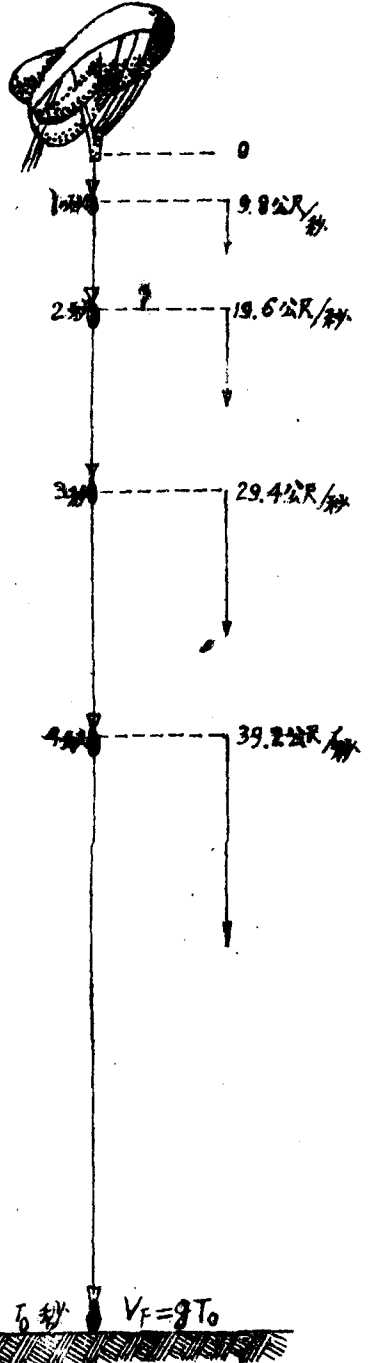
今設在真空中，炸彈自某高度下墜之時間，以 (T_0) 表示之。炸彈着地時之速度，稱為炸彈之終速，以 V_F 表示之。

據上所述，可知在真空中自某固定點投下炸彈之終速，等於地心吸力之加速度，乘以炸彈之下墜時間。

$$V_F = g \cdot T_0 \quad (1)$$

例題一 試求自一固定點投下炸彈之終速，設其下墜時間 $T_0 = 25$ 秒

第三圖



答案

$$V_F = g \times T_0 = 3,8 \times 25 = 245 \text{ 公尺/秒}$$

例題二 試求

$T_0 = 10$ 秒之終速 V_F ?

答案

$$V_F = 10 \times 9,8 = 98 \text{ 公尺/秒}$$

例題三 試求

$T_0 = 40$ 秒之終速。

答案

$$V_F = 40 \times 9,8 = 392 \text{ 公尺/秒}$$

在此種情形下，炸彈下墜之平均速度，根據第(VIII)公式為：

$$V_{AV} = \frac{g \cdot t}{2}$$

如此，在炸彈下墜之第一秒鐘，平均速度等於：

$$\frac{9,8 \times 1}{2} = \frac{9,8}{2} = 4,9 \text{ 公尺/秒}$$

在炸彈下墜最初兩秒鐘內，其平均速度為：

$$\frac{9.8 \times 2}{2} = 9.8 \text{ 公尺/秒}$$

在炸彈下墜的最初，秒鐘內，平均速度為：

$$\frac{9.8 \times 6}{2} = 29.4 \text{ 公尺/秒}$$

在炸彈下墜全部時間 T_0 內，其平均速度為：

$$V_{AV} = \frac{gT_0}{2} \quad (2)$$

炸彈在下墜時間內，按垂直線所經過之行程，即為投彈之高度。

既物體在某間隔時間內所經過之行程，等於平均速度乘該間隔時間，則炸彈按垂直線下墜在真空中所經過之行程，在第一秒鐘內，為：

$$\frac{g}{2} \times 1 = \frac{9.8}{2} \times 1 = 4.9 \text{ 公尺}$$

在最初下墜兩秒鐘內為

$$\frac{g \times 2}{2} \times 2 = 19.6 \text{ 公尺}$$

在最初下墜六秒鐘內為：

$$\frac{6 \times g}{2} \times 6 = 29.4 \times 6 = 176.4 \text{ 公尺}$$

炸彈在下墜整個時間內所經過之行程，為：

$$\frac{g \cdot T_0}{2} \cdot T_0 = \frac{g \cdot T_0^2}{2}$$

由此可得，投彈高度 H 與下墜時間 T_0 之相互關係，其

公式如下：

$$H = \frac{g \cdot T_0^2}{2} \quad (3)$$

故在真空中，當投彈時，以秒錶記取炸彈下墜之時間，則可按上列公式計算投彈之高度 H ：

例題一 炸彈下墜時間 $T_0 = 4$ 秒

$$H = \frac{g \times 4^2}{2} = \frac{9.8 \times 16}{2} = 78.4 \text{ 公尺}$$

例題二 炸彈下墜時間 $T_0 = 20$ 秒

$$H = \frac{g \times 20^2}{2} = \frac{9.8 \times 400}{2} = 1960 \text{ 公尺}$$

爲便於計算，炸彈自某高度下墜所需時間起見，求上列公式 T_0 之值：

$$H = \frac{g \cdot T_0^2}{2}$$

$$T_0^2 = \frac{2H}{g}$$

$$\sqrt{T_0^2} = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (4)$$

根據上列公式，在真空中，可以計算炸彈自某種高度下墜之時間。

例題一 $H = 1000$ 公尺

$$T_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000}{9.8}} = 14.3 \text{ 秒}$$

例題二 $H=2000$ 公尺

$$T_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2000}{9,8}} = 20,2 \text{ 秒}$$

例題三 $H=4000$ 公尺

$$T_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 4000}{9,8}} = 28,6 \text{ 秒}$$

由上列公式； $T_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$ ，可知炸彈下墜時間與高度之平方根成正比例。

例如 自高度 $H=1000$ 公尺下墜時間 $T_0=14,3$ 秒；

自高度 $H=4000$ 公尺下墜時間 $T_0=28,6$ 秒；

高度增加四倍，下墜時間僅增 $\sqrt{4}=2$ 倍，如高度增加九倍，下墜時間僅增加 $\sqrt{9}=3$ 倍，總而言之，如高度增加 n 倍， T_0 僅增加 \sqrt{n} 倍。

在附錄第一，內附有下墜時間“ T_0 ”表一份，係按第(4)公式求得者。

練習問題

1. 在真空中，自固定點投彈，炸彈如何下墜？
2. 在此種情形下，炸彈之速度，如何變化？
3. 在此種情形下，炸彈墜下之平均速度，如何計算？
4. 在空中下墜時間 T_0 與投彈高度 H 間之關係，其公式如何？

第二節 自飛機上投彈

由真空中飛機上投下之炸彈，其垂直下墜值，與第一節

所述，自固定點投下時同。

此外，因依慣性定律，炸彈將保持自己之原有速度，即保持投該炸彈瞬時飛機之速度 V 。

故炸彈之彈道，為兩種運動相加之結果：即因地心吸力而生之垂直等加速運動，(加速度 $g = 9,8$ 公尺/秒²)及依慣性定律而生之水平等速運動，其速度為 V 。

此種彈道之圖解如下：(第四圖)

假定：飛機在 B 點上投彈，飛機之速度為 V 。

經過一秒鐘後，飛機在 B_1 點，自 B 點起所經過之行程等於 $V \cdot 1$ 。如無地心吸力，則炸彈在此時，亦將同在 B_1 點。但因受地心吸力之影響，經第一秒鐘，炸彈之下墜值，為：
 $\frac{g \cdot 1^2}{2} = 4,9$ 公尺，正在 A_1 點之水平線上。是以炸彈將落於 n_1 點。(當飛機在 B_1 點)。

在第二秒鐘末，飛機將在 B_2 點，自 B 點起，其所經過之行程，等於 $V \times 2$ 。炸彈下墜值，為 $\frac{g \cdot 2^2}{2} = 19,6$ 公尺，正在 A_2 點之水平線上，是以炸彈將落於 n_2 點(當飛機在 B_2 點)。

在第三秒鐘末，飛機將在 B_3 點，炸彈按水平所經過之行程，等於 $V \cdot 3$ ，按垂直線之下墜值為 $\frac{g \cdot 3^2}{2} = 44,1$ 公尺，正在 A_3 點之水平線上，故結果落在 n_3 點上。

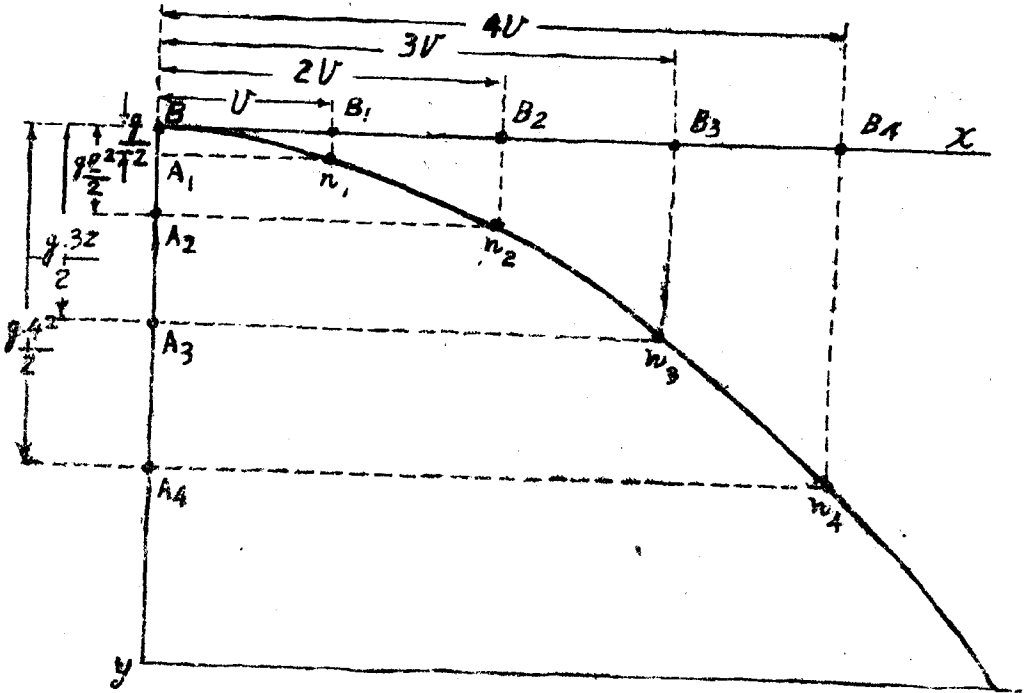
最後，經過 (t) 秒以後，炸彈離開 B 點，按水平向前移動距離，為 $V \cdot t$ ，按垂直下降之距離為 $\frac{g \cdot t^2}{2}$ 。

如將 B, n_1, n_2, n_3, \dots 等點聯結起來，而成一曲線，則

此曲線，即為炸彈之彈道。

此種曲線，在數學上，稱為拋物線。

第 四 圖



設自B點，畫一水平直線，以之為座標之 x 軸，畫一垂直直線，以之為座標之 y 軸，則可得一直角座標。在此座標內，此種彈道之方程式如下：

$$\left. \begin{aligned} X &= V \cdot t \\ Y &= \frac{g \cdot t^2}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

自前一個公式得：

$$t = \frac{x}{V}$$

試以 (t) 之值代入後一公式內，則可得拋物線(彈道)之

公式(該公式係以 y 為未知數)。即

$$Y = \frac{g}{2V^2} \times X^2$$

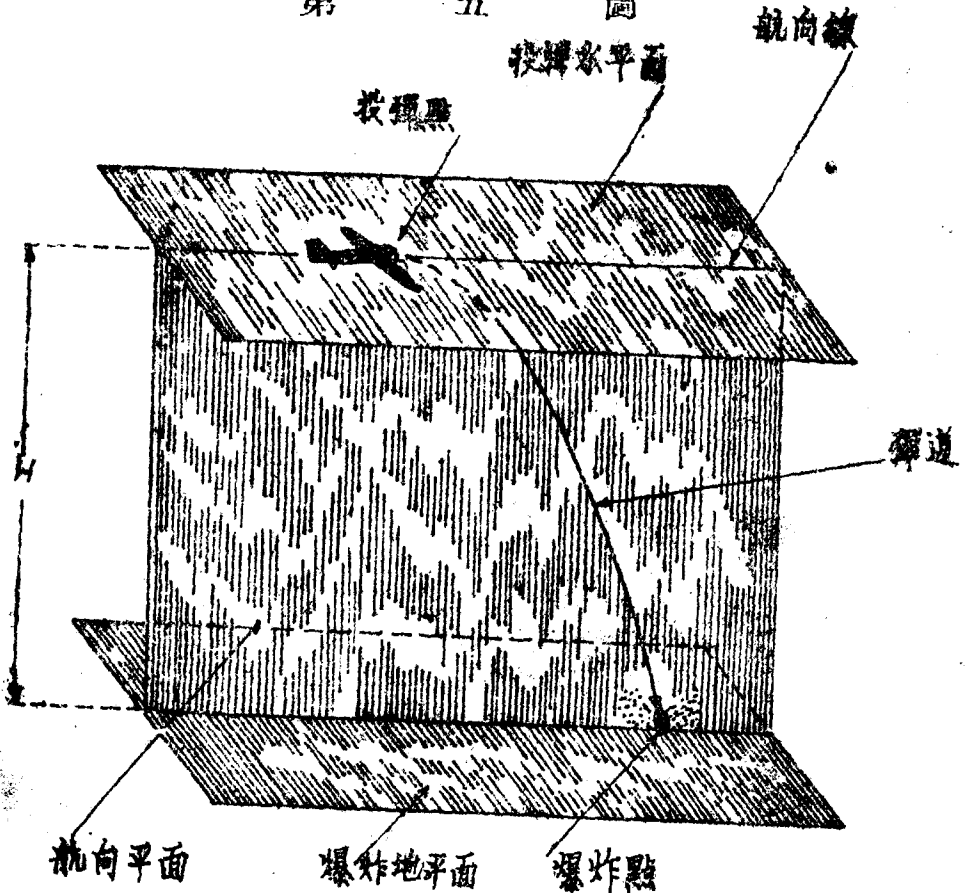
飛機在投彈瞬時所在之地點，謂之投彈點(第五圖)

投彈點係炸彈彈道之始點，即炸彈重心在開始投下時所處之地點。

經過投彈點，所引伸之水平面，謂之投彈水平面。

炸彈着陸之點，謂之彈着點。

第 五 圖



炸彈爆炸之點，謂之爆炸點。

在空中彈道學上，認為，對地面目標投彈時，炸彈之爆炸，恰發生於其着陸時之一瞬間，故爆炸點與彈着點相重疊。

通過爆炸點之水平面，謂之爆炸地平面。

自爆炸地平面至投彈水平面之垂直距離，謂之投彈高度，用字母“ H ”表示之，飛機對空氣之速度，謂之空速，以字母“ V ”表示之。

在空中彈道學上，認為飛機之定速，係循其軸心前進。經過投彈點與飛機軸線同向之水平線，謂之戰鬥航程線，簡稱之為(航向)。

經過戰鬥航程線之垂直平面，謂之戰鬥航程平面，簡稱之為(航向平面)。

自投彈點至爆炸點之水平距離(第六圖)，謂之炸彈射程，以“ A ”表示之。投彈點與爆炸點之聯接直線，謂之投彈線(瞄準線)，而投彈線與垂直線所形成之角度，謂之投彈角，(射角或投下角)，用 φ 表示之。(φ 為希臘字母讀如 Fi)。

附註：此種炸彈射程與投彈線之定義，只在無側風投彈時，方為正確。射程與投彈線之完全定義，將在第十節中說明之。

在真空中，(如第六圖)炸彈射程 A 將等於飛機在炸彈下墜時間內所經過之行程；

$$A = V \cdot T_0 \quad (6)$$

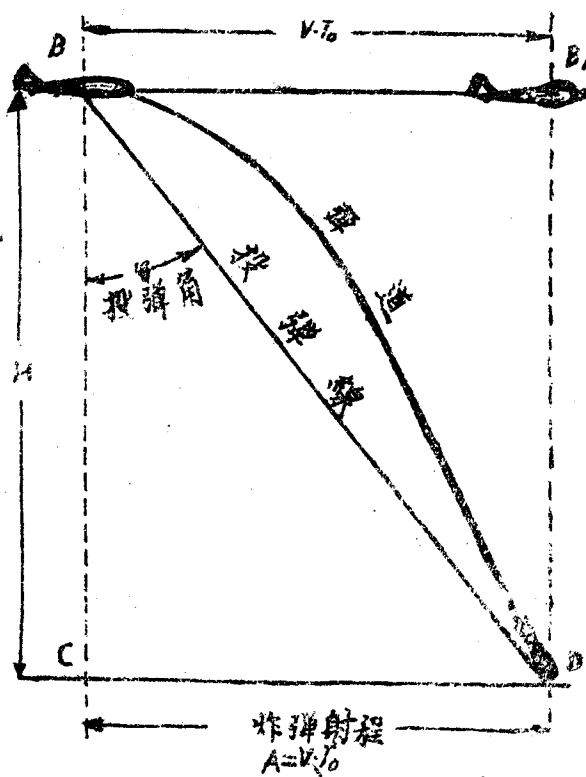
此處， $T_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，而炸彈之爆炸，將在飛機之垂直線下。

投彈角 φ 之大小，可自直角三角形 BCD 求得之。

自三角學可得：直角三角形之任一銳角之正切 (tg)，等於該角之對邊與該角相鄰之切線之比。

第 六 圖

在炸彈下墜時間內，飛機之行程



今炸彈射程 A，係投彈角 φ 之對邊，而高度 H，則為該角相鄰之切線，故

$$\text{tg } \varphi = \frac{A}{H} \quad \circ$$

按照 $\text{tg } \varphi$ 之值，可在三角函數表內，找出投彈角之數值。

在本章中，『在真空中』一語，僅對炸彈之下墜而言，決非對飛機之飛行而言。

例題一、投彈之高度 $H=700$ 公尺，速度 $V=40$ 公尺/秒，試求炸彈之射程與投彈角？

答案：

$$T_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 700}{9.8}} = 12 \text{ 秒}$$

$$A = VT_0 = 40 \times 12 = 480 \text{ 公尺}$$

$$\tan \varphi = \frac{A}{H} = \frac{480}{700} = 0.686$$

由函數表可求得：投彈角 $\varphi = 34^\circ 30'$

例題二 $H=2600$ 公尺

$V=180$ 公里/時 $= 50$ 公尺/秒，試求 T_0 ， A 及 φ 之值。

答案：

$$T_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 2600}{9.8}} = 23 \text{ 秒}$$

$$A = 23 \times 50 = 1150 \text{ 公尺}$$

$$\tan \varphi = \frac{1150}{2600} = 0.442 \quad \varphi = 23^\circ 50'$$

練習問題

1. 在真空中由飛機上投彈之彈道如何？
2. 此種彈道之方程式如何，如何以圖表表示之？
3. 何謂投彈點及投彈水平面？

4. 何謂戰鬥航程線及戰鬥航程平面？
5. 何謂爆炸點及爆炸地平面？
6. 何謂炸彈射程及投彈線（即臨界線）（在無側風投彈時）？
7. 何謂投彈角（射角）？
8. 在真空中，炸彈之射程如何？
9. 以何公式計算投彈角？

第二章 空氣阻力

第三節 空氣之抵抗量力(阻力)

在第一章內，曾論及炸彈在真空中之下墜情況。

在實際上，空間非為真空，空氣即充塞其間，而空氣對炸彈之下墜運動，發生一種阻力。該阻力之響影，相當鉅大，於計算時，實不容忽略之。

因空氣阻力之影響，炸彈在空中之彈道，喪失其原來之彈道線(拋物線)。設與真空中之彈道相比較時，則其形更為峻峭(如第七圖)。

在靜空氣中，對空彈道與絕對彈道相符合，即與對地彈道相符合(在動空氣中上述之彈道各異，)。

空氣阻力，與下列各要素有關：1. 炸彈之式形，2. 空氣之密度，3. 炸彈橫斷面之大小，4. 炸彈對空氣之速度。

因此，空用炸彈皆製成流線型式，其流線型之構造如何，常以前面阻力系數 C_x 表示之。炸彈之流線型構造愈佳，其 C_x 值愈小。

各式炸彈之阻力系數 C_x 常於航空風洞之實驗求得之。

燃燒彈之 C_x 值，常在 0,06 至 0,15 範圍之內。

當炸彈之軸心，與其對空氣運動之方向相符合時，此種炸彈之降落，謂之正確降落。炸彈正確降落時，空氣阻力，對之影響最小。

在此種情形下，空氣阻力之方向，係循着炸彈之軸心(即按照空中彈道之切線前進)而與其運動方向相反。

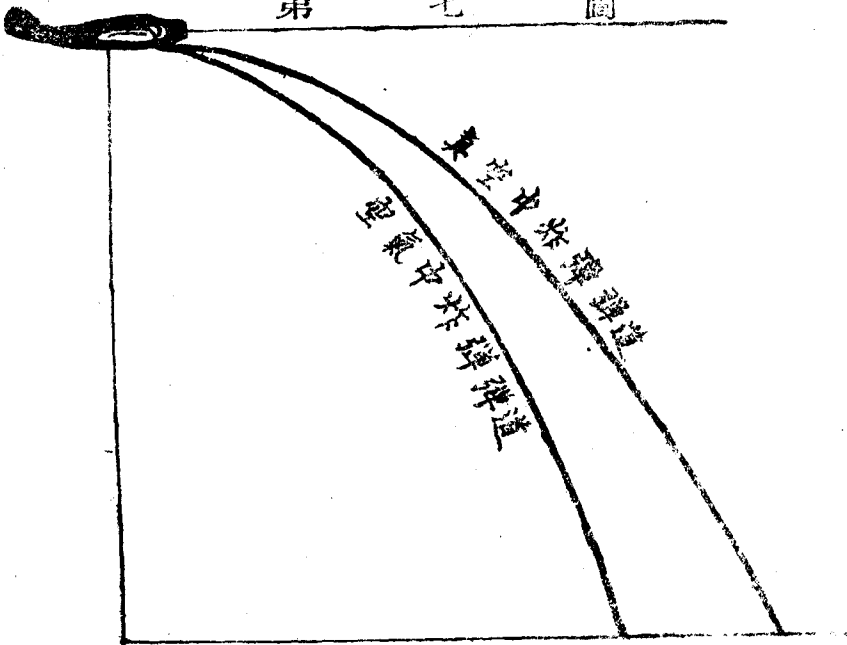
爲使炸彈降落正確，必須：

第一、炸彈之形式，與縱軸心對稱；

第二、炸彈之重心點，須在縱軸心上；

第三、炸彈須具有安定之設備，如炸彈軸心，因某種原因而對運動方向發生偏差時，則該安定設備即應產一力矩，以迫使該炸彈軸心取得正確之地位。

第七圖



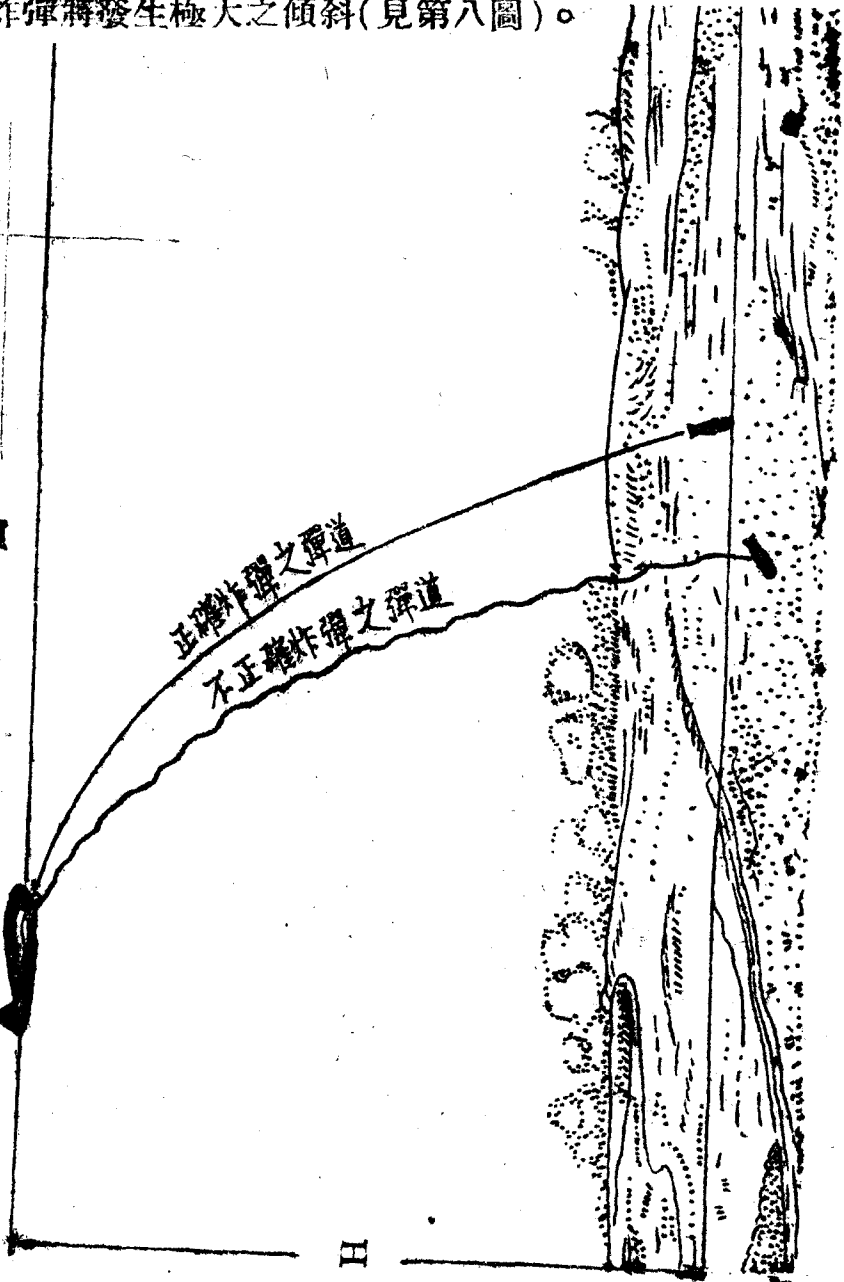
職是之故，炸彈須備有定縱裝置。此外，炸彈之重心，須盡可能，接近其頭部。

爲保證炸彈之正確降落起見，自炸彈之重心，至安定操縱裝置之後切斷面之長度，須佔炸彈總長百分之六十以上。

如不具此條件，則炸彈之降落，將不正確；發生劇烈之動搖，炸彈之彈道，將喪失其正規之形狀而成爲無規則之曲

線，無論在縱面與橫面上俱成若干曲折，且空氣之阻力大為增加，炸彈之射程與正常炸彈之射程相比較亦大為減少。此外，炸彈將發生極大之傾斜(見第八圖)。

圖
八
解



空氣之密度，須視空氣之氣壓，溫度與濕度如何而定。一立方公尺空氣之重量，謂之空氣之重量密度（以下簡稱比重。）比重用 n 表示之。

在彈道學上，地球表面之正常條件規定如下：

氣壓 750 mm (水銀柱高度)；

溫度 +15°C；

相對濕度 50%

在此條件下地面上空氣之比重以 n_0 表示之， $n_0 = 1,206$ 公斤/公尺³。

高度愈高空氣之比重亦愈見減少。

在第二附錄內，(在本書末) $\frac{n}{n_0}$ 表內列有在高空之空氣比重 (n) 對地面空氣比重 (n_0) 之比例(在彈道學之正常條件下)。

空氣之阻力非按比重計算，而係按體質密度計算，用 ρ 表示之(此為希臘字，讀如 ro 音)。

一立方公尺空氣之質量，謂之空氣之體質密度。(以下簡稱密度) ρ 之單位為 公斤 \times 秒²/公尺⁴

$$\rho = \frac{n}{g}$$

在正常天氣之條件下，地面空氣之比重 $n_0 = 1,206$ 公斤/公尺³ 時地面空氣之密度：

$$\rho_0 = \frac{1,206 \text{ 公斤/公尺}^3}{9,81 \text{ 公尺/秒}^2} = 0,123 \text{ 公斤} \times \text{秒}^2/\text{公尺}^4$$

在正常天氣之條件下，計算高空之空氣密度，可採用下

列公式：

$$n = n_0 \times \frac{n}{n_0} = 1,206 \text{ 公斤/公尺}^3 \times \frac{n}{n_0}$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{n}{n_0} = 0,123 \text{ 公斤} \times \text{秒}^2 / \text{公尺}^4 \cdot \frac{n}{n_0}$$

$\frac{n}{n_0}$ 之數值，詳附錄二之表內。

例題一 試計算在 1000 公尺高度時，空氣之比重及密度。

答案：

$$\frac{n}{n_0} = 0,8995 \approx 0,9$$

$$n = n_0 \cdot \frac{n}{n_0} = 1,206 \times 0,9 = 1,085 \text{ 公斤/公尺}^3$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{n}{n_0} = 0,123 \times 0,9$$

$$= 0,111 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{公尺}^4$$

例題二 試計算在六〇〇〇公尺高度時，空氣之比重及密度。

$$\frac{n}{n_0} = 0,5297 (\approx) 0,53$$

$$n = n_0 \cdot \frac{n}{n_0} = 1,206 \times 0,53 = 0,639 \text{ 公斤/公尺}^3$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{n}{n_0} = 0,123 \times 0,53$$

$$= 0,065 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{公尺}^4$$

在初步空中投彈之彈道學上空氣之阻力常用下列公式表

示之：

$$R = C_x \times \rho \times S \times V_b^2 \quad (8)$$

R——空氣阻力以公斤計；

C_x ——炸彈前面阻力之係數；

ρ ——空氣之密度以(公斤 \times 秒²/公尺³)計；

S——炸彈最大橫斷面之面積，以平方公尺計；

V_b ——在某時間內炸彈對空氣之速度以公尺/秒計算。

此公式及本章以後所述之其他含有炸彈速度之公式，僅於速度 V_b 少於20公尺/秒時方為正確。

若炸彈速度近與聲音之速度時，(332公尺/秒)，則空氣阻力之增加較速度之平方尤大，其公式將更複雜。

因炸彈之最大中央斷面，係為圓形，故如知其最大橫斷面之直徑 d ，或測出炸彈之圓周 l ，即可求出最大中央斷面之面積。

在幾何學上，圓形之面積等於 $\frac{\pi d^2}{4}$ 。而炸彈之圓周等於 $\pi \cdot d$ (見本節附註)

$$\text{因此炸彈之最大橫斷面 } S = \frac{\pi d^2}{4},$$

$$\text{但 } l = \pi \times d \quad \text{即 } d = \frac{l}{\pi}$$

$$\text{則 } S = \frac{\pi \cdot \left(\frac{l}{\pi}\right)^2}{4} = \frac{l^2}{4\pi};$$

今設 $C_x \times \rho$ 用字母K代表之

$$\text{即 } C_x \times \rho = K.$$

則空氣阻力之公式可得下列簡式：

$$R = K \times S \times V_b^2 \quad (9)$$

例題一 設 $K = 0,02$; $d = 0,21$ 公尺 ; $V_b = 100$ 公尺/秒
，試求影響該炸彈之空氣阻力值。

答案：

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,21)^2}{4} = 0,035 \text{ 公尺}^2$$

$$R = K \times S \times V_b^2 = 0,02 \cdot 0,035 \cdot (100)^2 = 7 \text{ 公斤}$$

例題二 設 $K = 0,012$, 中央橫斷面圓周

$l = 1,12$ 公尺及 $V_b = 200$ 公尺/秒，試求 R ?

答案：

$$S = \frac{l^2}{4 \times \pi} = \frac{(1,12)^2}{4 \cdot 3,14} = 0,1 \text{ 公尺}^2$$

$$R = K \times S \times V_b^2 = 0,012 \cdot 0,1 \times 200^2 = 48 \text{ 公斤}$$

附註： π ——為希臘字母讀如(Pi)，在數學上 π 是表示一種抽象之數字，表示圓周之長度與直徑之比。

$\pi = 3,1415927 \dots$ 其略數為 $\pi = 3,14$

練 習 問 題

1. 空氣阻力對炸彈之彈道影響如何？
2. 何謂炸彈對空氣之彈道？
3. C_x 量為何？如何求得之？燃燒彈 C_x 值之範圍如何？
4. 炸彈之正確降落，必須何種條件，在此種情形下，空氣阻力之方向如何？
5. 如不具此等條件時，將有何種之結果？

6. 何謂空氣之重量密度(比重)與空氣之體質密度(即密度)以何字表示之?
7. 空氣之密度與何有關?密度因高度變化而生之變化如何?某高度之 n 及 ρ 如何求得之?
8. 在炸彈正確降落時,空氣阻力用何公式計算之?
9. 此公式在何種速度範圍內方為正確,其理由安在?
10. 如已知炸彈之最大直徑或圓周如何計算其中央(最大)橫斷面之面積?

第四節 空氣阻力對炸彈速度之影響

空氣阻力能阻滯炸彈之運動。

因空氣阻力而生之加速度(此處係減速度之意) a , 根據力學之定律, 等於空氣阻力 R 對炸彈體質 m 之比例, 自公式(9)得:

$$R = K \times S \times V_b^2$$

故
$$a = \frac{R}{m} = \frac{K \times S}{m} \times V_b^2 \quad (10)$$

在投彈時, 炸彈之速度, 等於飛機之空速 V , 其方向為水平。因此空氣阻力, 在投彈時, 其方向亦為水平。至因空氣阻力所生之加速度, 亦將具水平之方向。

設水平方向之空氣阻力, 用 R_x 表示之, 水平之加速度用 a_x 表示之。

按照下列公式: $R = K \times S \times V_b^2$

則投彈時:

$$R_x = R = K \times S \times V^2$$

$$a_x = a = \frac{K \times S}{m} \times V^2$$

因此之故，炸彈在投下後，即開始喪失其初速。

因地心吸力之加速度之影響關係，炸彈在投下後，即開始產生一垂直下降之速度。

故炸彈之速度 V_b 在彈道之任一點上，皆為下列兩種速度之合速度(見第九圖)：

1. 原有水平空速因受空氣阻力影響，逐漸減少之存速 V_x ；及
2. 受地心吸力之加速度影響之遞增垂直速度 V_y 。

與彈道相切之空氣阻力 R 亦可分為兩個分力：1. 水平之 R_x 及 2. 垂直之 R_y 。

由 V_b ， V_x 及 V_y 諸速度所組成之各三角形，與由 R ， R_x 及 R_y 所組成之各三角形為相似形。由幾何學可得：

$$\frac{R_x}{V_x} = \frac{R}{V_b} ;$$

$$\frac{R_y}{V_y} = \frac{R}{V_b} ;$$

故
$$R_x = V_x \frac{R}{V_b} ;$$

及
$$R_y = V_y \frac{R}{V_b} ;$$

但
$$R = K \times S \times V_b^2$$

故
$$R_x = V_x \times \frac{K \times S \times V_b^2}{V_b} = K \times S \times V_x \times V_b \quad (11)$$

$$\text{及 } R_y = V_y \times \frac{K \times S \times V_b}{V_b} = K \times S \times V_y \times V_b \quad (12)$$

空氣阻力之加速度同樣可分為兩個組成部份：水平部份 a_x 及垂直部份 a_y ：

$$a_x = \frac{R_x}{m} = \frac{KS}{m} \times V_x \times V_b \quad (13)$$

$$a_y = \frac{R_y}{m} = \frac{KS}{m} \times V_y \times V_b \quad (14)$$

因 $V_b = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ ，

故空氣阻力之水平分力及空氣阻力加速度之水平組成部份，非僅與炸彈速度之水平組成速度有關，且與其垂直組成速度有關。

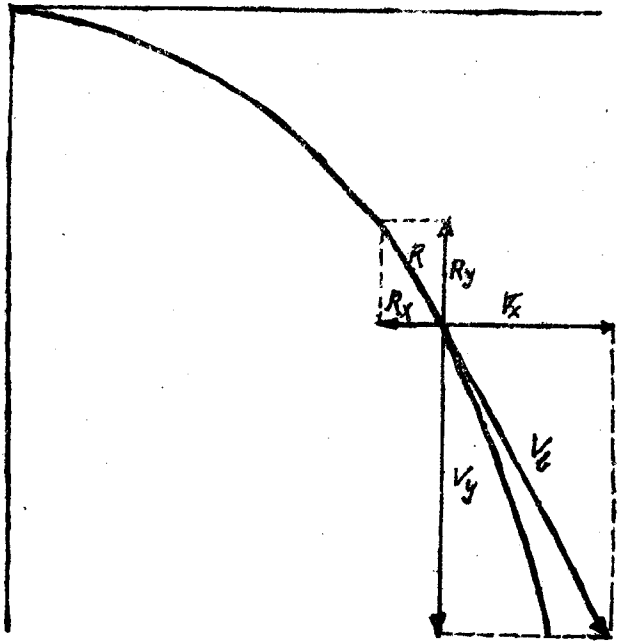
同理空氣阻力之垂直分力，及空氣阻力加速度之垂直組成部份，亦不僅與炸彈速度之垂直組成速度有關，且與其水平組成速度有關。

設 $V_y = 0$

則 $V_b = V_x$

$$R_x = R = K \times S \times V_x^2$$

第 九 圖



$$\text{而} \quad a_x = a = \frac{K \times S}{m} \times V_x^2$$

此僅在投彈一瞬時，具此條件，其時：

$$V_b = V_x = V$$

炸彈之垂直組成速度 V_y ，係依下列兩者間之差為基礎者：(一)不變之地心吸力之加速度 g 及(二)在彈道每點上逐漸增大之空氣阻力之加速度之垂直組成部份 a_y 。

今將實際之垂直加速度，用字母 j 表示之：

$$j = g - a_y \quad (15)$$

在投彈時 $a_y = 0$ ，故

$$j = g$$

然後因加速度 a_y 逐漸增加，故 j 之加速度，逐漸減少，當 $a_y = g$ 時；則 $j = 0$ 。

在此種情況下，空氣阻力之垂直分力正等於炸彈之重量：

$$R_y = Q$$

字母 Q 表示炸彈之重量，以公斤計算。

設空氣之密度，不因高度改變而變化，則當 R_y 等於 Q 時，炸彈之垂直下降速度 V_y 將成為不變值，且炸彈之繼續垂直運動，亦將成為等速運動。但實際上，因高度減低後，空氣密度逐漸增加，故 V_y 之數值（在 R_y 等於 Q 後），將略行減少。

由此可得：(一)空氣阻力加速度之水平組成部份 a_x ，將炸彈之水平組成速度 V_x 逐漸減小；炸彈運動，在水平方向，成不均衡之減速運動（不均衡者係因加速度 a_x 為不定值

之故)；(二)與在真空中投彈相較，空氣阻力加速度之垂直組成部份 a_y ，將炸彈之垂直組成速度 V_y 減小；炸彈之運動在垂直方向，係不均衡之加速運動，至 R_y 等於 Q 後，則變為不均衡之減速運動，(不均衡原因 j 為不變值 g 與可變值 a_y 之差，故亦為可變值)。每一炸彈對地面皆有其固定最大之垂直速度，無論自任何高空投下其速度皆不能超過之。

此種速度謂之極限速度(或最大速度，或終速)，用 V_{\max} 表示之。

當炸彈達到極限速度時，其水平組成速度與垂直速度相較，其值甚微，故極限速度，可以如下計算：

$$V_y = V_{\max} = V_b$$

$$R_y = Q = R$$

按公式 (8) $R = C_x \times \rho \times S \times V_b^2$

而在地面上 $R = C_x \times \rho_0 \times S \times V_b^2$

因此，當 $Q = R$

則 $Q = C_x \times \rho_0 \times S \times V_{\max}^2$ (16)

由此可得： $V_{\max} = \sqrt{\frac{Q}{C_x \times \rho_0 \times S}}$

炸彈重量(以公斤計算)，對其中央橫斷面積(以平方公尺計)之比，謂之炸彈橫斷面之負荷率，用字母 P 表示之。

$$P = \frac{Q \text{ 公斤}}{S \text{ 平方公尺}}$$

故

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{P}{C_x \cdot \rho_0}}$$

因

$$\sqrt{\frac{1}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{1}{0.128}} = 2.85$$

$$\text{則 } V_{\max} = 2,85 \sqrt{\frac{P}{C_x}} \quad (17)$$

各種炸彈之極限速度 V_{\max} 之值，約在每秒鐘一五〇公尺至每秒鐘六五〇公尺之範圍。利用第十六公式，可以求得 V_{\max} ，但必須在 V_{\max} 每秒鐘少於二二〇公尺時，方為正確。

能使炸彈下墜達到極限速度 V_{\max} 之投彈高度，視彈道之特性而異，約在三、〇〇〇公尺，至六、〇〇〇公尺之譜（尚有較高者）。

附註：每種空氣密度，均各有其最大速度 V_{\max} ，因第十七公式僅適合於地面之空氣密度，而炸彈之降落係在不同之密度情況中，故其真實最大速度 V_{\max} 亦比第十七公式所計算者略大。（見17圖）

例題一 試求炸彈重量 $Q=50$ 公斤者之最大速度，設其中央橫斷面積 $S=0.05$ 平方公尺。

前面阻力係數 $C_x=0,2$

答案：

$$P = \frac{Q}{S} = \frac{50}{0.05} = 1000 \text{ 公斤/公尺}^2$$

$$\begin{aligned} V_{\max} &= 2,85 \cdot \sqrt{\frac{P}{C_x}} = 2,85 \cdot \sqrt{\frac{1000}{0,2}} \\ &= 201,5 \text{ 公尺/秒} \end{aligned}$$

例題二 試求炸彈重量十二公斤者之最大速度，設其中央橫斷面積 $S=0,02$ 平方公尺。

而前面阻力係數 $C_x=0,15$

答案：

$$P = \frac{Q}{S} = \frac{12}{0,12} = 600 \text{ 公斤/公尺}^2$$

$$\begin{aligned} V_{\max} &= 2,85 \cdot \sqrt{\frac{P}{C_x}} = 2,85 \cdot \sqrt{\frac{600}{0,15}} \\ &= 180,3 \text{ 公尺/秒} \end{aligned}$$

練習問題

1. 用何公式計算空氣阻力之加速度？
2. 在投彈之瞬間空氣阻力之方向如何，其力等於若干？
3. 用何公式計算空氣阻力之水平分力，及空氣阻力加速度之水平組成部份；及其對炸彈之運動影響如何？
4. 用何公式計算空氣阻力之垂直分力及空氣阻力加速度之垂直組成部份，及其對炸彈運動之影響如何？
5. 在空氣阻力存在時，炸彈之實際垂直加速度，如何計算，及其變化限度如何？
6. 當 R_y 等於 Q 時，炸彈按垂直線運動之性質如何，及其原因何在？
7. 何謂炸彈之橫斷面負荷率及如何表示之？
8. 何謂炸彈之極限速度(終速)，計算某種炸彈之極限速度 V_{\max} 之公式如何推出之？

第五節 炸彈之彈道特性

在同一空氣密度下，速度相同之各式炸彈，其彈道特性如何，視各該炸彈所受空氣阻力之加速度大小而定。

如在此種情況下，各式不同炸彈，所受空氣阻力之加速度相同時，則其彈道特性亦同。蓋因在同一投彈條件下，彼等所形成之彈道相同。

如在此種情況下，各式炸彈所受空氣阻力之加速度不相等時，則受加速度較少之炸彈，其彈道較佳，蓋因其彈道較其他炸彈之彈道，更接近真空彈道。

為便於比較炸彈之彈道特性起見，第十公式

$$a = \frac{K \times S}{m} \times V_b^2$$

可改為下列形式：

$$\text{因} \quad K = \rho \times C_x = \frac{n}{g} \times C_x$$

且因炸彈之體質

$$m = \frac{Q}{g}$$

故

$$a = \frac{\frac{n}{g} \times C_x \times S \times V_b^2}{\frac{Q}{g}}$$

若以 g 乘之以 S 除之，則得：

$$a = \frac{n \cdot C_x \cdot V_b^2}{\frac{Q}{S}}$$

但因 $\frac{Q}{S} = P$ ，故其最終公式為：

$$a = \frac{C_x}{P} \times n \times V_b^2 \quad (18)$$

由此可得：炸彈之彈道特性，須依據炸彈前面阻力係數對橫斷面負荷率之比例如何而定。此比例愈小，炸彈之彈道亦愈佳。

炸彈具相同之係數 C_x 者，則其橫斷面負荷率愈大者，其彈道愈佳。

兩炸彈之形式，及橫斷面負荷率均各不同時，但亦能具有同一之彈道特性，其條件為：

$$\frac{C_{x_1}}{P_1} = \frac{C_{x_2}}{P_2}$$

該式中之各項表示如下：

C_{x_1} —— 為第一個炸彈前面阻力之係數；

C_{x_2} —— 第二個炸彈前面阻力之係數；

P_1 —— 第一個炸彈橫斷面之負荷率；

P_2 —— 第二個炸彈橫斷面之負荷率。

例題一 試比較下列兩個炸彈之彈道特性，設：

第一個炸彈

$$Q_1 = 60 \text{ 公斤} ; S_1 = 0,03 \text{ 公尺}^2 ; C_{x_1} = 0,1 ;$$

第二個炸彈

$$Q_2 = 50 \text{ 公斤} ; S_2 = 0,04 \text{ 公尺}^2 ; C_{x_2} = 0,125 ;$$

答案：

$$P_1 = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{60}{0,03} = 2000 \text{ 公斤/公尺}^2 ;$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{50}{0,04} = 1250 \text{ 公斤/公尺}^2 ;$$

$$\frac{C_{x_1}}{P_1} = \frac{0,1}{2000} = 0,00005 ;$$

$$\frac{C_{x_2}}{P_2} = \frac{0,15}{1250} = 0,00012 ;$$

因爲 $\frac{C_{x_1}}{P_1} = 0,00005$ 比 $\frac{C_{x_2}}{P_2} = 0,00012$ 較小，故第一個炸彈之彈道較佳。

例題二 試比較下列兩炸彈之彈道特性，設：

第一個炸彈

$$Q_1 = 50 \text{ 公斤} ; S_1 = 0,03 \text{ 公尺}^2 ; C_{x_1} = 0,08 ;$$

第二個炸彈

$$Q_2 = 50 \text{ 公斤} ; S_2 = 0,05 \text{ 公尺}^2 ; C_{x_2} = 0,08 ;$$

答案：

$$P_1 = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{50}{0,03} = 1667 \text{ 公斤/公尺}^2 ;$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{50}{0,05} = 1000 \text{ 公斤/公尺}^2 ;$$

$$\frac{C_{x_1}}{P_1} = \frac{0,08}{1667} ;$$

$$\frac{C_{x_2}}{P_2} = \frac{0,08}{1000} ;$$

很顯明的， $\frac{C_{x_1}}{P_1} = \frac{0,08}{1667}$ 較 $\frac{C_{x_2}}{P_2} = \frac{0,08}{1000}$ 爲小，故第一

個炸彈之彈道較佳。

例題三 試比較下列兩炸彈之彈道特性，設：

第一個炸彈

$$Q_1 = 120 \text{ 公斤} ; S_1 = 0,1 \text{ 公尺}^2 ; C_{x_1} = 0,08 ;$$

第二個炸彈

$$Q_2 = 90 \text{ 公斤}; S_2 = 0,06 \text{ 公尺}^2; C_{X_2} = 0,1:$$

答案：

$$P_1 = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{120}{0,1} = 1200 \text{ 公斤/公尺}^2$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{90}{0,06} = 1500 \text{ 公斤/公尺}^2$$

$$\frac{C_{X_1}}{P_1} = \frac{0,08}{1200} = 0,000067$$

$$\frac{C_{X_2}}{P_2} = \frac{0,1}{1500} = 0,000067$$

因為 $\frac{C_{X_1}}{P_1} = \frac{C_{X_2}}{P_2}$ 故該兩種炸彈之彈道特性相同。

設有炸彈兩種，其形式相似，且裝備同種之彈藥，則其橫斷面之負荷率，與該炸彈之長度成正比例；故炸彈愈大，彈道亦愈佳。

炸彈長度增加橫斷面之負荷率亦增加，其理由如下：

相似形式之炸彈，其中央橫斷面面積 S 常與其直徑 d 之平方成正例，即與該炸彈之長度之平方成正比例。至炸彈之容量（當裝備同種之彈藥時，亦即炸彈之重量 Q ）則與其長度立方成正比例。

因此，橫斷面負荷率 $P = \frac{Q}{S}$ 之增大，常與炸彈之長度成正比例。

例題 兩個炸彈其形式相似，且裝備同種之彈藥；第一個炸彈之重量 $Q_1 = 50$ 公斤，其直徑

$$d_1 = 0,24 \text{公尺} ;$$

第二個炸彈之直徑等於第一個炸彈直徑之兩倍，
試求該兩炸彈之橫斷面負荷率。

答案：

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14(0,24)^2}{4} = 0,045 \text{公尺}^2$$

$$P_1 = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{50}{0,045} = 1111 \text{公斤/公尺}^2$$

$$d_2 = 2 \times d_1 = 2 \times 0,24 = 0,48 \text{公尺}$$

$$S_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,48)^2}{4} = 0,18 \text{公尺}^2$$

或者 $S_2 = 2^2 \cdot S_1 = 4 \cdot 0,045 = 0,18 \text{公尺}^2$

$$Q_2 = 2^3 \cdot Q_1 = 8 \times 50 = 400 \text{公斤}$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{400}{0,18} = 2222 \text{公斤/公尺}^2$$

因此， P_2 比 P_1 大兩倍，

下列算法更為簡便：

$$Q_2 = 2^3 \times Q_1 ;$$

而

$$S_2 = 2^2 \times S_1$$

則

$$P_2 = \frac{Q_2}{S_2} = \frac{2^3 \times Q_1}{2^2 \times S_1} = 2 \times P_1$$

在計算彈道時，常用彈道係數 C ，估計炸彈之彈道特性

• C 之值如下：

$$C = 8064 \times n_0 \times \frac{C_X}{P} = 9725 \times \frac{C_X}{P} \quad (19)$$

解釋： $n_0 = 1,206 ; 8064 \times 1,206 \approx 9725$

彈道特性較佳之炸彈，其彈道係數較小；且有相同彈道特性之炸彈，其彈道之係數亦同。

附註：數值 $5064 = \frac{1}{0,000124}$ 爲由 $\frac{C_x \cdot r_0}{P}$ 變爲彈道

係數 C 之係數。其求法茲不贅述。

據蘇聯工農紅軍之空軍對炸彈彈道特性之估計，常以在白晝正常環境下，及飛機在投彈時之空速爲 $V=10$ 公尺/秒時，炸彈自二〇〇〇公尺高度下墜之時間爲標準。此種時間謂之炸彈之特徵時間，用字母 θ 表示之（ θ 爲希臘字母讀如“Teta”）。

如炸彈之 θ ，小於二十二秒時，則 C 與 θ 間之比例，約如下列公式：

$$\theta \approx 20,19 + 0,81 \times C \quad (20)$$

在空氣中炸彈下墜之時間，因空氣阻力加速度之垂直組成部份之影響，常較自同高度在真空中下墜之時間爲多。

在空氣中下墜之時間用字母 T 表示之。

炸彈之彈道特性愈佳，則自某高度炸彈下墜所需之時間，與在同高度真空中下墜所需之時間之差亦較小。

在真空中二、〇〇〇公尺高度時， $T_0 = 20,19$ 秒，

故在真空中 $\theta = 20,19$ 而 $C = 0$ 。

如炸彈之彈道係數 $C = 1$ 時，

則 $\theta \approx 20,19 + 0,81 \cdot 1 = 21$ 秒

反之，如已知炸彈之特徵時間 θ ，即可按照下列公式計算彈道係數，

$$C \approx \frac{\theta - 20,19}{0,81} \quad (21)$$

例如 炸彈之特徵時間 $\theta = 21.5$ 秒

$$C \approx \frac{21.5 - 20.19}{0.81} = 1.617$$

計算彈道時如 V_b 超過 320 公尺/秒，則可應用下列公式：

$$a = C \cdot \frac{n}{n_0} F(V_b) \quad (22)$$

在此式中：

a —— 空氣阻力之加速度；

c —— 炸彈之彈道係數；

$\frac{n}{n_0}$ —— 空氣在高空之比重對空氣在地面之比重之比例

(在白晝正常之環境下)；

$F(V_b)$ —— 依據炸彈速度之可變值；

因在地面上 $\frac{n}{n_0} = 1$ 及在最大速度 V_{max} 情況下 $a = g$

故 $g = C \cdot F(V_{max})$ ； $F(V_{max}) = \frac{g}{C}$

依據 V_b 之 $F(V_b)$ 數值，詳見圖表。可應用該公式以求得 V_{max} 數值。

在第三附錄內載有 θ, C 值與 V_{max} 之數值相互關係表

練 習 問 題

1. 炸彈之彈道特性由何決定？
2. 空氣阻力之加速度及炸彈之彈道特性對於前面風力

係數與炸彈之橫斷面負荷率有何關係？

3. 為何較大炸彈具有較好之彈道特性？
4. 設知炸彈之前面阻力係數及其橫斷面負荷率時，如何計算其彈道係數？
5. 何為 θ ？
6. 應用何種近似公式，可使 C 與 θ 之值，聯繫起來？

第三章 在靜空氣中炸彈之彈道 (計算空氣之阻力)

第六節 在靜空氣中炸彈彈道之原素

在靜室氣中炸彈之彈道，係由三種原素形成之：

- 一 飛機之空速 V ；
- 二 地心吸力之加速度 g ；
- 三 空氣阻力之加速度 a 。

按照慣性之定律，炸彈力求保持其有之飛機空速 V 。

因地心吸力之加速度的影響，炸彈產生一按垂直方向下降之速度。

空氣阻力之加速度，一方面減少炸彈之水平組成速度（此水平組成速度在真空中，等於飛機之空速，能一直保持至炸彈爆發時不變。）；另一方面加長炸彈之下墜時間 T （比在同高度真空中下墜之時間 T_0 為大）。

因此之故，在炸彈下墜時間內，在靜空氣中，飛機之行程大見增加：

$$V \times T > V \times T_0$$

而炸彈之射程 A 比在真空中之射程 (VT_0) 則行減少：

$$A < V \times T_0$$

在第十圖中實曲線 (BD) 表示炸彈在空氣中之彈道，而虛曲線 $(B'D')$ 則表示其在真空中之彈道。

凡用數字 2 所標誌之點與數值，係表示炸彈在空氣中之

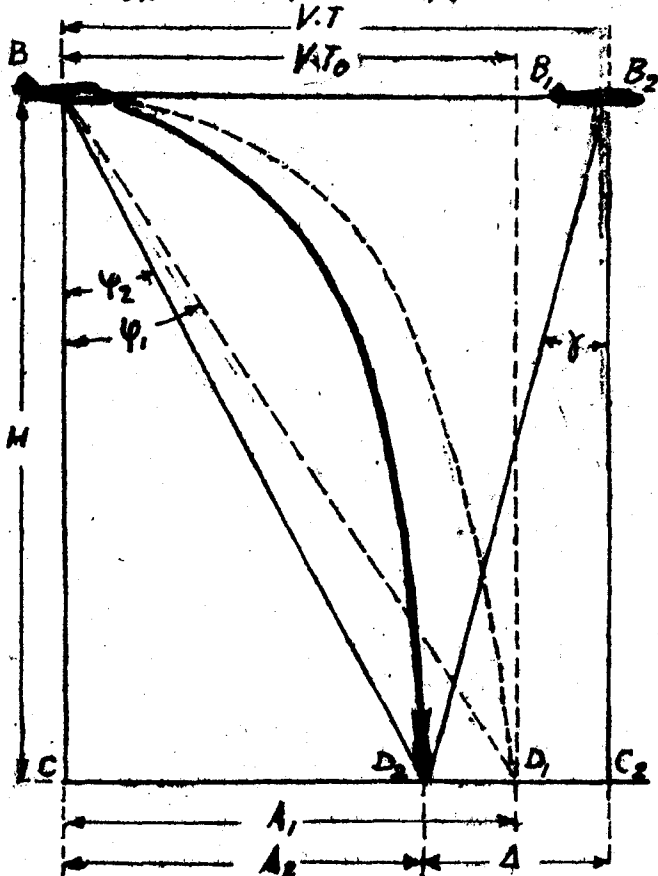
下墜情況，而數字 1 則表示在真空中之下墜情況。

B 點為投彈點。

如炸彈在真空中下墜時，則在炸彈下墜期間內，飛機所經過之行程等於 $V \times T$ 。在炸彈爆發時，飛機恰在 B_1 點上，炸彈之爆發則在 D_1 點上，該點正在飛機之垂直線下。炸彈之射程 A_1 等於飛機之行程。

$$A_1 = V \times T.$$

第十圖



如炸彈在空氣中下墜，則因下墜時間之增加關係，在炸彈爆發時飛機完成較大之行程 $V \times T$ ，正處在 B_2 點上。炸

彈之射程減少。炸彈之爆發，在 D_2 點上。 D_2 點必在飛機之後方， B_2D_2 線成一略斜之垂直線。既：

$$A_2 < A_1 = V \times T. \quad \text{及}$$

$$V \times T > V \times T. \quad \text{故}$$

$$A_2 < V \times T$$

由上式可得：炸彈在空氣中之射程，常少於飛機在炸彈下墜時間內所經過之行程。

因射程減小，投彈角亦隨之而減小。

$$\text{因} \quad \text{tg} \varphi_2 = \frac{A_2}{H} < \text{tg} \varphi_1 = \frac{A_1}{H}$$

$$\text{故} \quad \varphi_2 < \varphi_1$$

(詳見第十圖所示)

此後在靜空氣中炸彈之射程，用 A 。表示之；在靜空氣中之投彈角，用 φ 。表示之。

在炸彈下墜時間內，在靜空氣中飛機之行程，與炸彈在靜空氣中之射程，兩者間之差額，謂之炸彈退曳程，用希臘字母 Δ 表示之。讀如 (delta)

$$\Delta = V \times T - A. \quad (28)$$

在炸彈爆發時，飛機所處之地點（飛機應在投彈後，按水平直線繼續飛行，而不改變航向與速度），與彈着點之聯接線，謂之退曳線。

退曳線與垂直線所作成之角度，謂之退曳角，用希臘字母 γ 表示之。（讀如 gamma）

退曳角之值，可由直角三角形 $B_2D_2C_2$ 求得之。該直角三角形之底邊 $D_2C_2 = \Delta$ （ Δ 係直角三角形內與退曳角 γ

第三章 在靜空氣中炸彈之彈道(計算空氣之阻力) 47

相對之一邊), $B_2C_2 = H$ (H 係直角三角形內與退曳角 γ 相鄰之一邊), 故

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta}{H} \quad (24)$$

在靜空氣中炸彈對空彈道(空中彈道), 與對地彈道(絕對彈道), 混而為一。關於此點已述之於前章。故在靜空氣中炸彈之射程 A 。(見第十一圖), 投彈角 φ , 退曳程 Δ 及退曳角 γ , 均稱為靜空氣中彈道之原素, 或稱空氣中彈道之原素。

T 與 Δ 之計算非常複雜, 須用高等數學之幫助, 且須在彈道學方面有專門之知識。故此種計算工作, 由一專門委員會担任, 將求得結果, 製成彈道圖表。

$\pi-10$ 式炸彈($\theta = 21$ 秒)之教練彈道表, 列入本書附錄四內; $\pi-25$ 式炸彈($\theta = 21.3$ 秒)列入附錄五內; $\pi-7$ 式炸彈($\theta = 25$ 秒)則列入附錄六內。

每表之構成, 其特徵時間 θ 係為一固定值, 在一定之限度內, 變化投彈之高度 H 及空速 V , 以求其他之 T , Δ , γ 等值。

高度之變化為相差二〇〇公尺, 而空速則相差 20 公里/時。

對於每種空速, 及高度之數值, 在表內均列有退曳程 Δ 之數值。

因空速增加, 下墜時間增加極小, 故在表內僅對最小及最大之空速, 列有 T 值。

因投彈高度增加, 退曳角之變化甚小, 故對 $\pi-10$ 式

炸彈之退曳角 γ 之值，僅於高度每相差一千公尺時計算一次。

如 T 及 Δ 之值已知時，則計算空中彈道之其餘各原素，並不複雜。

由公式 (23) 可求得射程 A_0 之值：

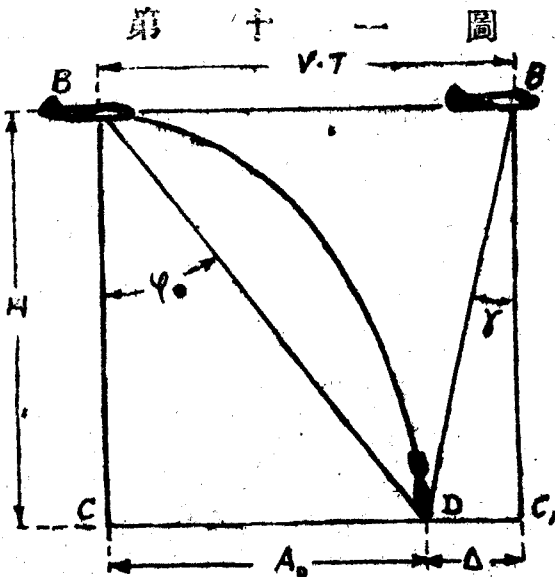
$$A_0 = V \cdot T - \Delta \quad (25)$$

在靜空氣中之投彈角 (射角 φ_0) 可按下列公式計算之：

$$\tan \varphi_0 = \frac{A_0}{H} \quad (26)$$

退曳角可按公式 (24) 求得之：

$$\tan \gamma = \frac{\Delta}{H}$$



例題一 試求在靜空氣中 $\pi-25$ 式炸彈之彈道各原素，設其投彈高度 $H=5000$ 公尺；空速 $V=220$ 公里/時。

答案：

1. 自附錄第五表內求得 T 與 Δ 之數值：

T = 5,5 秒； $\Delta = 448$ 公尺 (γ 之數值，為練習計試計算之。)

附註：因當 V = 220 公里/時，其下墜時間 (T) 之數值，在表內未載，可取其最接近之空速

V = 240 公里/小時之 (T) 值。

2. 試求在炸彈下降時間內飛機之行程：

$$V \cdot T = \frac{220 \cdot 35,5}{3,6} = 2169 \text{ 公尺}$$

附註：因 V 之單位，常為公里/小時，而時間 (T) 則以秒為單位，為便利計算飛機在炸彈下墜時間內之行程起見，必須將每小時若干公里之速度，變為每秒鐘若干公尺故用 3,6 除之。

3. 試求炸彈在靜空氣中之射程：

$$A_0 = V \cdot T - \Delta = 2169 - 448 = 1721 \text{ 公尺}$$

4. 試求在靜空氣中投彈角之正切：

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A_0}{H} = \frac{1721}{5000} = 0,344$$

5. 按照 $\operatorname{tg} \varphi_0$ 之數值可在三角函數表內，求得在靜空氣中之投彈角：

$$\varphi_0 = 19^\circ$$

6. 試求退曳角之正切：

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta}{H} = \frac{448}{5000} = 0,090$$

7. 按照 $\operatorname{tg} \gamma$ 之數值，可在三角函數表內，求得退曳角 γ 之值：

$$\gamma = 5^{\circ} 10' \quad (\gamma = 5^{\circ} 8' \text{ 更為正確})。$$

例題二 試求 $\pi-4$ 式炸彈之空中彈道各原素，設其投下高度 $H=8000$ 公尺；空速 $V=360$ 公里/時。

答案：

$$T=15,3 \text{ 秒} ; \Delta=970 \text{ 公尺} ; V \cdot T=4530 \text{ 公尺} ;$$

$$A_0 = V \cdot T - \Delta = 4530 - 970 = 3560 \text{ 公尺} ;$$

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{3560}{8000} = 0,445 ; \quad \varphi_0 = 24^{\circ} ,$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{970}{8000} = 0,121 ; \quad \gamma = 6^{\circ} 55'$$

例題三 試求 $\pi-7$ 式炸彈在靜氣中之彈道各原素設其高度 $H=800$ 公尺；空速 $V=180$ 公里/時；

答案：

$$T=13,6 \text{ 秒} ; \Delta=118 \text{ 公尺} ; V \cdot T=680 \text{ 公尺} ;$$

$$A_0 = 562 \text{ 公尺} ; \operatorname{tg} \varphi_0 = 0,702 \quad \varphi_0 = 35^{\circ} 05'$$

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,148 \quad \gamma = 8^{\circ} 25'$$

如欲將在靜氣中投彈之彈道以圖表表示時，須具有下列各值：

1. 飛機之空速 V ，設

$$V = 144 \text{ 公里/時} = 40 \text{ 公尺/秒} ;$$

2. 炸彈下墜之時間 T ；

3. 炸彈之退曳程 Δ ；

隨和用下表，繪出彈道：

高 度H 公尺	時 間 T 秒	退曳程△ 公尺
200	6,5	18
400	9,4	38
600	11,6	60
800	13,6	87
1000	15,4	112
1200	17,1	138
1400	18,7	166
1600	20,9	194
1800	21,6	226
2000	23,0	248

彈道之繪製如下：（見第十二圖）

1. 在米厘紙上（在該紙上印有橫豎垂直線，每線距離一米厘），取一投彈點 B，由 B 點畫一水平線，此線表示戰鬥航程線。

2. 自投彈點沿戰鬥航程線以 1：5000 比例尺（每五公尺等於一米厘），量取在炸彈自二〇〇，四〇〇及六〇〇公尺等高度之下墜時間內，飛機所經之各行程 $V \times T$ （對行進之計算，每次均應從投彈點開始）。

3. 自每一行程之末端，以同前之比例尺，畫一垂直線，其數值等於投彈之高度，即二〇〇，四〇〇及六〇〇等等公尺。

7. 自每一垂直線之下末端，向投彈點方向引伸一水平線，其長度適合各該高度之退曳程 Δ 。

5. 所求得各點，即為彈道上之點。將各點聯成一曲線，即得炸彈之彈道。

此處應注意者，即在引用之各圖表內（其他之彈道圖表亦相同）， T 及 Δ 之數值，係為在彈道學內認為正常之條件下而設；即在地面上（在爆炸之地平面上）氣壓為 750mm（水銀柱高），溫度為 $+15^{\circ}\text{C}$ 。

如爆炸地平面高出海平面 100 公尺時，其條件約如上述。

爆炸地平面如超出海平面過高時，則空氣之密度較稀，因此空氣對炸彈下墜之抵抗力亦減少。

故其結果，在同一投彈高度下， T 及 Δ 之數值亦見減少。投彈之高度 H 應自爆炸地平面起計算此點切應記牢。

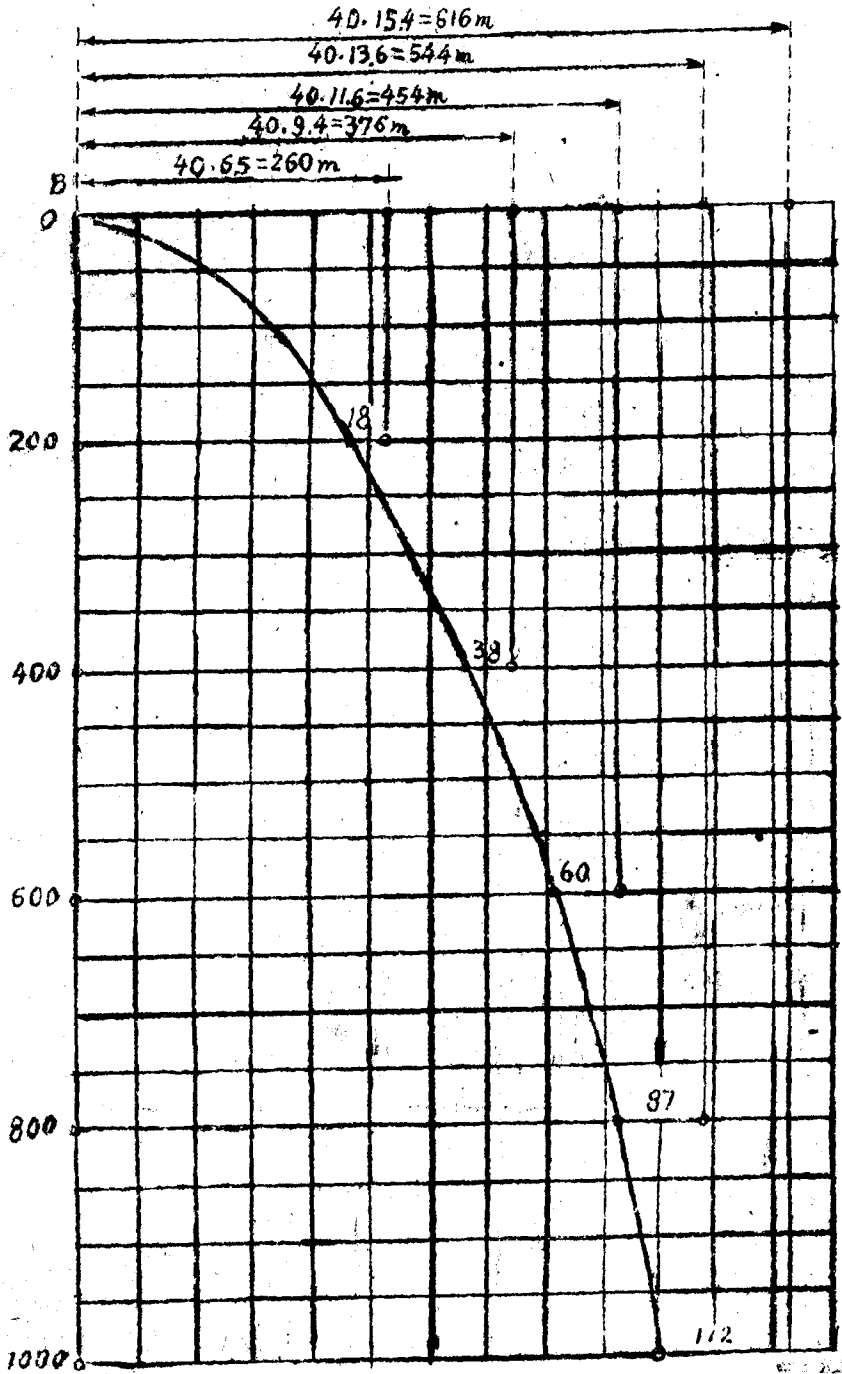
例如，某投彈點（如第十三圖）在距海平面五一〇〇公尺之高空，而爆炸地平面則超出海面四、一〇〇公尺，即其投彈高度 $H=1000$ 公尺。

設與另一具有同投彈高度之彈道相較時，則 T_1 之數值小於 T （故 $V \cdot T_1 < V \cdot T$ ）， Δ_1 及 γ_1 之數值小於 Δ 及 γ 而射程數值 A_1 則大於 A 。

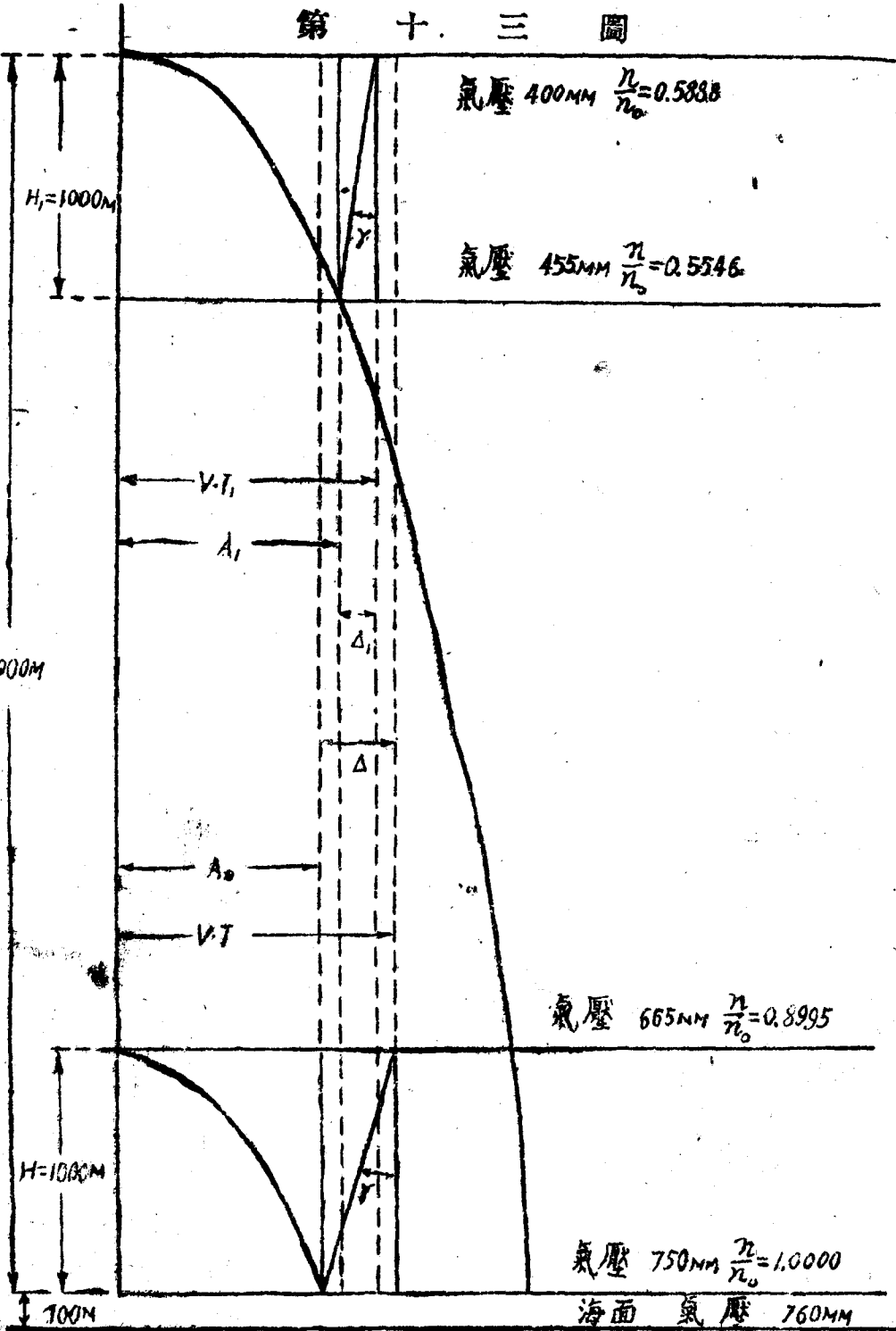
上述 T ， Δ ， γ 及 A 。各數值，均應等於當投彈高度 $H=1000$ 公尺及爆炸地平面之氣壓，等於 750mm 時，彈道之各原素。

如此按照彈道表之數值，以繪製彈道，其不準確可知。當投彈高度甚大時，此誤差之值亦甚大。

第 十 二 圖



第十三圖



練習問題

1. 在靜空氣中炸彈之彈道，以何原素形成之？
2. 空氣阻力對於炸彈之下墜時間及其射程之影響如何？
3. 炸彈爆發時，飛機所處位置如何（如投彈後，飛機繼續按直線飛行不變更航向，高度與速度）？
4. 何謂炸彈之退曳程？
5. 何謂退曳線及退曳角？
6. 式在靜氣中彈道之原素以何字母表示之及應用何公計算之？
7. 彈道表如何使用？
8. 如何繪製在靜氣中之彈道圖？
9. 當爆炸地平面，超過海平面過高時，根據彈道圖表所繪製之彈道圖，及計算彈道之各原素，每易發生差誤，其故安在？

第七節 炸彈對飛機之彈道

本節所述炸彈對飛機之彈道，與前節同，即設炸彈之投下，係飛機在等速等高水平直線航行之狀態下飛行，且此種飛行在投彈後亦無變化。

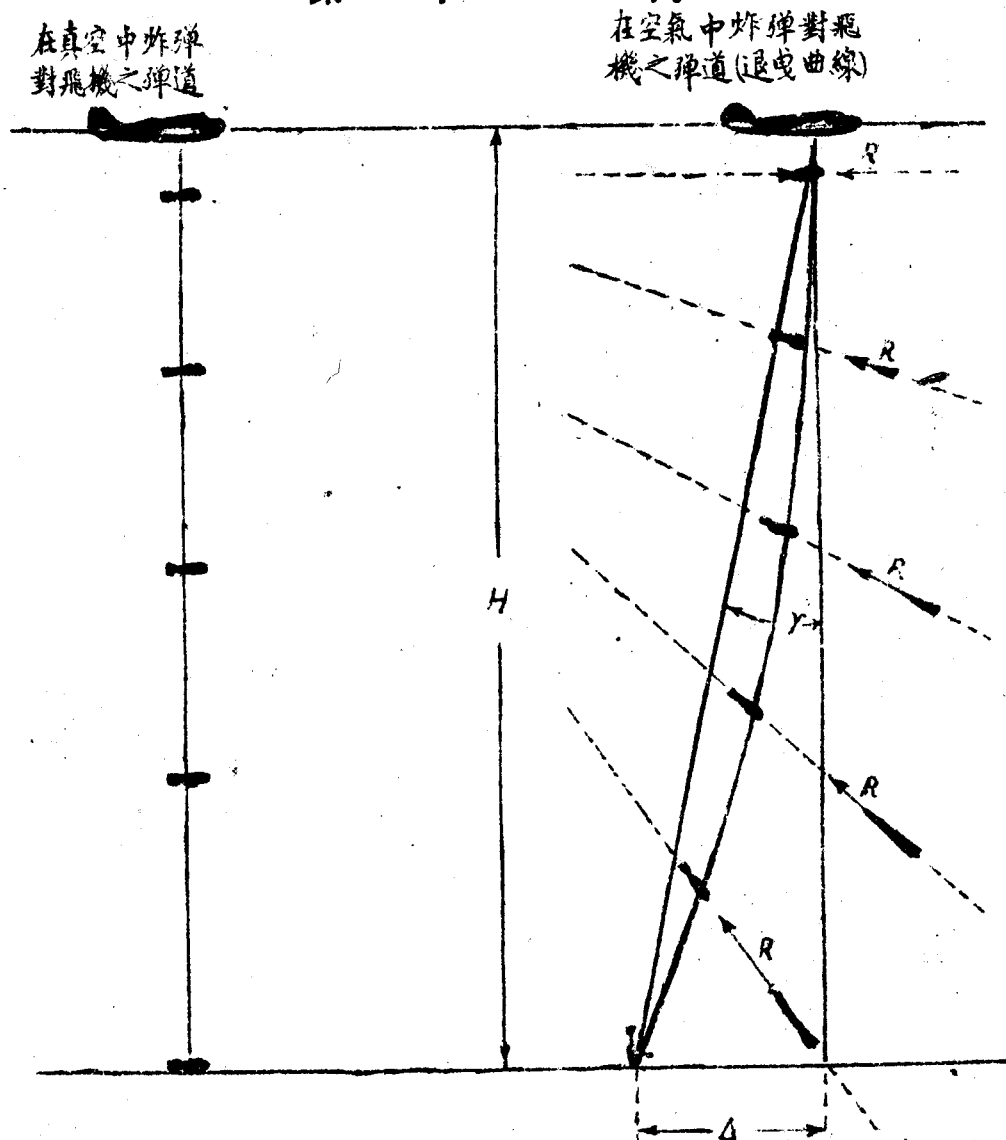
在飛機上之轟炸員，並不感覺飛機本身對地面之運動，反而感覺陸地似在飛機之下面移動。

在飛機上所見炸彈之下墜，係在飛機之中央垂直平面內徐徐向後彎曲，而炸彈本身漸由水平狀態，轉變為垂直狀態。

而墜下(第十四圖)。

轟炸員所見炸彈之運動，即炸彈對飛機之運動(亦即炸彈對飛機之彈道)。

第 十 四 圖



如無空氣之阻抗時，則加諸投下炸彈之力量，僅為一地

第三章 在靜空氣中炸彈之彈道(計算空氣之阻力) 57

心吸力，且因在投彈時，炸彈對飛機之速度為零，故炸彈對飛機之運動，祇以地心吸力之加速度為基礎 ($g=9,81$ 公尺/秒²)。

此種加速度之方向，係按垂直線下降。故炸彈對飛機之彈道，亦為一垂直線，其下墜之時間 $T_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ 。至炸彈之爆發點，則在飛機之垂直線下。

但因飛機之四週空氣(設飛機為不動時)，在與飛機軸心相反之向移動(與飛機之空速動徑方向相反)，而形成水平之空氣流。該氣流之速度，等於飛機之空速 V 。故投下之炸彈因受該氣流之壓力關係，而產生一沿該氣流方向之平行加速度。

在投彈時，此種壓力即空氣之阻力，為水平方向，設其值用 R_0 表示之。則按公式(8)可得：

$$R_0 = C_x \times \rho \times S \times V^2$$

因此之故，在投彈時，加諸於炸彈之力量有二：(如第十五圖)一為垂直方向使炸彈下降之地心吸力 Q ，一為水平方向使炸彈滯後之空氣阻力 R_0 。

在此兩種力量之影響下，炸彈即開始按其合力 F 之方向運動，其理甚為顯明。

垂直線與炸彈開始運動方向間之角度，謂之退角初角，用 γ_0 表示之。

γ_0 量可由 BOD 直角三角形求得之。

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{DO}{BO} = \frac{R_0}{Q}$$

若以 $C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$ 代替 R 。則得：

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2}{Q}$$

但因 $\frac{Q}{S} = P$ ，

$$\text{則 } \operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{C_x}{P} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (27)$$

如最大速度 V_{\max} 小於 220 公尺/秒則在下式中

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2}{Q}$$

可根據第十六公式，將 Q 之數代入，即

$$C_x \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V_{\max}^2 = Q$$

$$\text{則得 } \operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2}{C_x \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V_{\max}^2}$$

縮減之，即得

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{\rho}{\rho_0} \times \frac{V^2}{V_{\max}^2}$$

但因 $\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{n}{n_0}$

$$\text{故 } \operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{n}{n_0} \cdot \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^2 \quad (28)$$

如在地面時，則 $\frac{n}{n_0} = 1$ ，故其 $\operatorname{tg} \gamma_0 = \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^2$

例題一 試求在低空（即 $\frac{n}{n_0} = 1$ ）投彈之退曳初角，設

飛機之空速

$V = 40$ 公尺/秒，而炸彈之最大速度

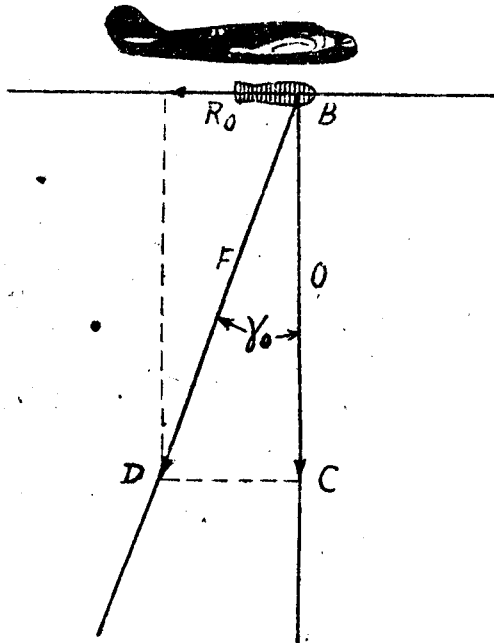
$$V_{\max} = 200 \text{ 公尺/秒}$$

答案：

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^2 = \left(\frac{40}{200} \right)^2 = 0,04$$

因此 $\gamma_0 \approx 2^\circ 20'$

第十五圖



例題二 試求炸彈之退曳初角，設投彈高度為八〇〇〇公尺，空速 $V=100$ 公尺/秒，炸彈之最大速度 $V_{\max}=220$ 公尺/秒

答案：

1. 根據第二附錄之圖表求得：

$$\frac{n}{n_0} = 0,4285$$

2. 根據公式(28)求得

$$t_{g_0} = \frac{n}{n_0} \times \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^2 = 0.4935 \cdot \left(\frac{100}{220} \right)^2$$

$$= 0.089$$

因此

$$\gamma_0 = 5^{\circ}05'$$

例題三 試求炸彈之退曳初角，設投彈高度為五〇〇〇公尺 $V=50$ 公尺/秒及 $\theta=21$ 秒

答案：

1. 根據第二十一公式求得彈道係數：

$$C = \frac{\theta - 20.19}{0.81} = \frac{21 - 20.19}{0.81} = 1$$

2. 根據公式第十九

$$C = 9725 \cdot \frac{C_x}{P}$$

$$\text{故 } \frac{C_x}{P} = \frac{C}{9725} = \frac{1}{9725} = 0.000103$$

3. 根據附錄二之圖表求得：

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{n}{n_0} = 0.123 \cdot 0.5838 = 0.072423$$

4. 根據公式(27)

$$t \gamma_0 = \frac{C_x}{P} \cdot \rho \cdot V^2 = 0.000103 \cdot 0.072423 \cdot 50^2$$

$$= 0.0186$$

$$\gamma_0 = 1^{\circ}04'$$

炸彈對飛機之運動，係按退曳初角 γ_0 之方向開始進行

因炸彈之垂直下降速度，逐漸增加，空氣阻力動徑之方向亦隨之失去水平而逐漸傾斜。至炸彈之頭部亦逐漸下墜，蓋炸彈之軸心，因安定操縱面之故，常使與空氣 R 具同一之方向。(見第十四圖)

炸彈對飛機之彈道，稱為退曳曲線。該曲線係由在飛機及中央對稱垂平面內兩種力量之影響下所組成：1. 為數值及方向均固定不變之地心吸力 Q ；2. 為具可變數值(逐增的)及方向(對地平面傾斜之角度，為 0 度至 90° 度之變化)之空氣阻力 R 。

因空氣阻力在炸彈下墜時逐漸增大，故自投彈時起，退曳角亦開始逐漸增加，迄達到某最大之值時為止。斯時因空氣阻力 R 對地平面之傾斜度增加至一相當角度，退曳角之增大即行停止。且在炸彈繼續下墜之相當時間內，退曳角之值不變。自此以後，即開始減小。

因此，在相當高度中投彈時，其退曳曲線附有雙重曲度。見(第十六圖)

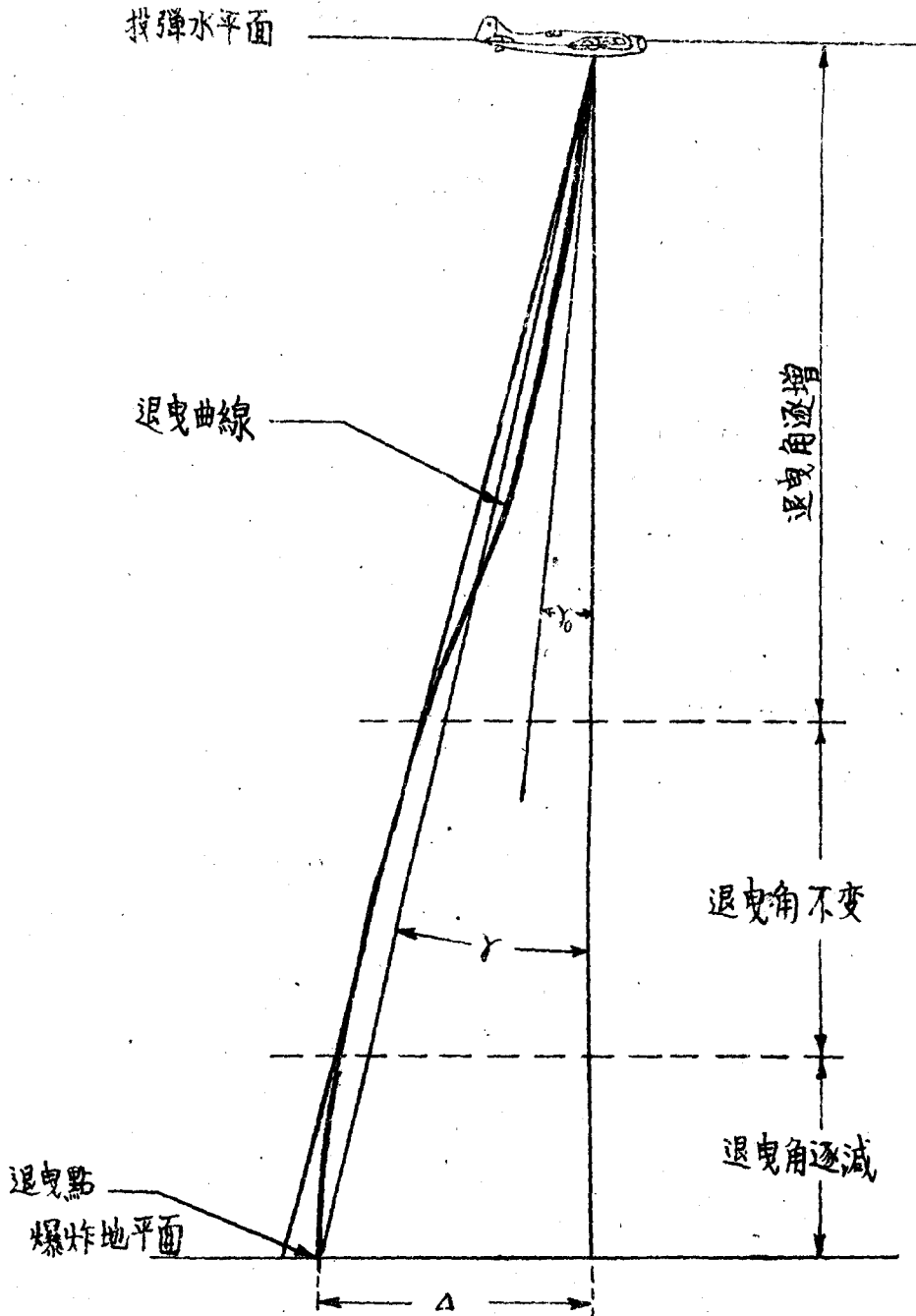
在實際上，自高空投彈，其退曳角之變化，為值甚微，故炸彈對飛機之彈道，其曲度如何，無何重要關係。退曳曲線與地平面之交點，謂之退曳點。

自飛機至退曳點之水平距離，謂之炸彈之退曳程。

既知炸彈對飛機之彈道後，則在以後研究時，可將此彈道視為與飛機有固定聯繫之曲線。該曲線位於飛機之中央對稱垂平面內，且對空氣對地面均與飛機同時移動。

在炸彈投下後，當飛機尚未變更其飛行之狀態前進，退曳曲線仍隨飛機一致前進。如在投彈後，飛機改變其航向，

第 十 六 圖



速度或高度時，則對於退曳曲線已不發生任何關係。蓋僅於投彈時之彈道特性及飛機飛行之狀態，與該退曳曲線有關。如投彈後飛機改變其飛行狀態，而離開退曳曲線時，則該曲線仍繼續成獨立之運動。其速度及航向，仍保持飛機投彈時，原有之速度及航向。

炸彈自投彈點起，即按照退曳曲線開始運動，經過下墜時間 T 後，在爆炸地平面上之一點爆炸，其爆炸彈與退曳點同一位置。

練習問題

1. 轟炸員見其所投下之炸彈作如何運動？
2. 被投下之炸彈對飛機之運動如何？
3. 何謂退曳初角，按何公式計算之？
4. 何謂退曳曲線，與退曳點？
5. 在何種力量之影響下，形成退曳曲線？
6. 炸彈下降時，退曳角之變化如何？退曳曲線之形式如何？
7. 在炸彈投下後，飛機應如何前進，方使轟炸員所見之炸彈運動確按退曳曲線進行？

第四章 動空氣中投彈之彈道

第八節 在風向平面中投彈之彈道原素及航空算尺之應用

在動空氣中，炸彈之彈道，具有四種因素：

1. 飛機之空速 V ；
2. 風速 U ；
3. 地心吸力之加速度 g ；
4. 空氣阻力之加速度 a 。

最簡單之情形，即在風向平面中之投彈。因在此種情形下，飛機地速之方向，與其空速方向相符合，地速之數值 W 等於空速 V 與風速 U 之算學和或算學差。在順風投彈時，其地速增加 ($W = V + U$)；而在逆風投彈時，則其地速減少 ($W = V - U$)。

在彈道學上所假定風之不變狀態下，（即自飛機至地面之整個空氣層，均按在投彈高度之風之方向及其速度運動），飛機，炸彈及空中彈道，均可視為附屬於空氣全體積中而隨之移動。其方向及速度與風向及風速同，其移動量等於 $U \times T$ 。

此種運動，即為移動運動。

炸彈對空氣彈道（空中彈道）係以炸彈最初之空速，地心吸力之加速度，及空氣阻力之加速度為基礎，而上之述之三數值，在炸彈隨空氣全體積作移動運動時，並不發生任何變

化。故炸彈對空氣之彈道，在靜氣及動氣中相同。

在第十七圖內，虛線曲線，係表示在靜氣中炸彈之彈道，而實線曲線則為順風中炸彈之彈道。

此種彈道，為炸彈之對空彈道隨空氣全體積同時移動之結果。

因在空氣之移動運動中，不增加任何之空氣阻力，故空氣阻力之加速度，其數值與方向，仍與靜空氣中相同。因此，下墜時間 T ，炸彈退曳程 Δ ，退曳角 γ ，均不發生任何變化。

職此之故，無論飛機速度之值如何，其 T ， Δ ， γ 之數值，仍可自彈道表內按 θ ， H ，及 V (而非 W) 求得之。

當順風時，在炸彈下墜時間內飛機之行程，等於

$$W \times T = V \times T + U \times T = (V + U) \times T$$

而炸彈射程

$$A = A_0 + U \times T = V \times T - \Delta + U \times T = (V + U) \times T - \Delta$$

當逆風時，在炸彈下墜時間內飛機之行程，等於

$$W \times T = V \times T - U \times T = (V - U) \times T$$

而炸彈之射程

$$A = A_0 - U \times T = V \times T - \Delta - U \times T = (V - U) \times T - \Delta$$

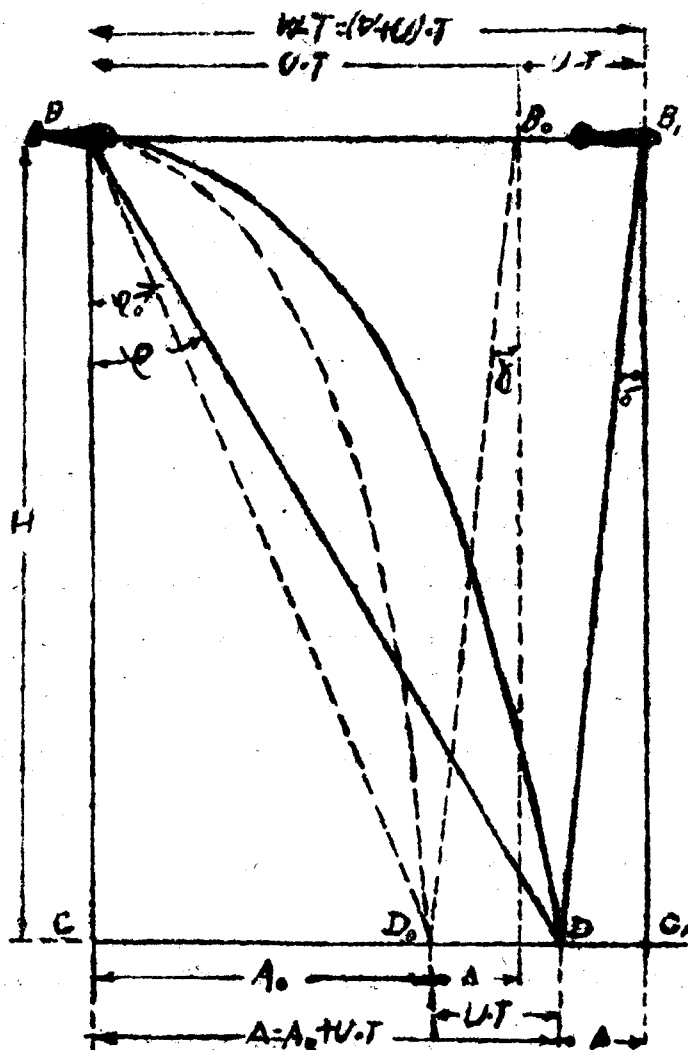
換言之，在順風逆風時，炸彈射程 A 可按下列公式計算之：

$$A = W \times T - \Delta \quad (29)$$

投彈角可按公式(7)計算之：

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{A}{H}$$

第 十 七 圖

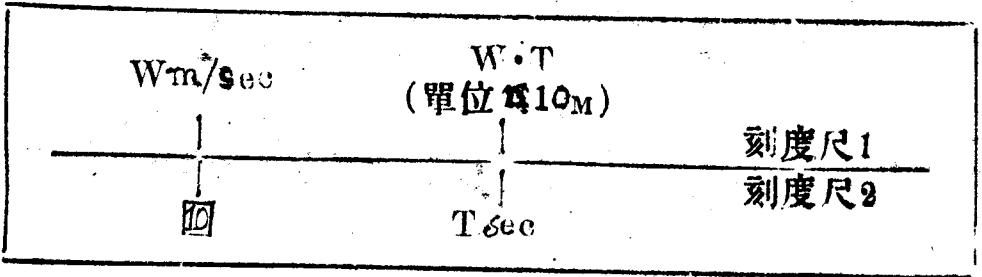


在實際應用上，如彈道線原素之計算誤差在十公尺內，及角度原素之計算誤差在 $0^\circ, 5$ 度內，即頗正確。

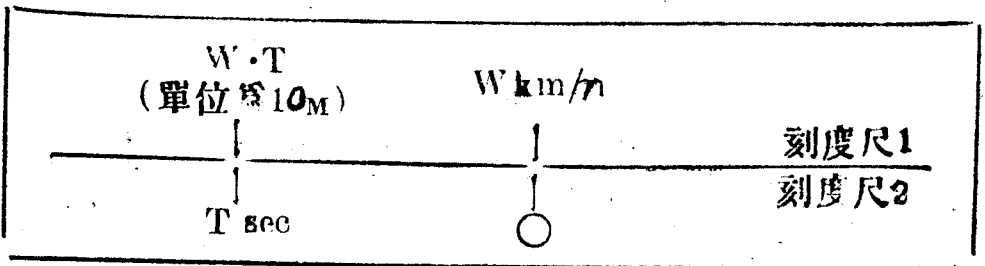
因此 今後於計算 Δ ， WT 及 A 等數值時(除少數特別指明者外)將略加增減之至十公尺之整數，而 γ 及 ρ 之數值，則增減至半度計算之。

第 十 八 圖

應用航空算尺計算 $W \cdot T$ 之使用法，設 W 之單位為公尺/秒



應用航空算尺計算 $W \cdot T$ 之使用法，設 W 之單位為公里/時



炸彈射程與投彈角之計算，可用航空算尺輔助之。

計算炸彈射程 A 時，可應用航空算尺之第一刻度尺與第二刻度尺。自航空算尺上，求得 WT 值，然後自 $W \cdot T$ 值內，減去退曳程 Δ ，即得射程 A 。

如地速之單位，以公尺/秒計算時，(第十八圖)則將在二刻度尺上註有 10 字之正方形符號之指針 \square ，使之與第一刻度尺上地速 $W \text{ m/sec}$ 值之刻度相對。

如地速之單為公里/時，則將在第二刻尺上，第 36 度處，具有圓形符號之指針，使之與第一刻尺上地速 $W \text{ km/h}$ 值之刻度相對。

在上述兩情形下，與第二刻度尺上，下墜時間 T 秒之

刻度相對之第一刻度尺上之刻度，均為飛機行程 $W \cdot T$ (單位為公尺) 之值。

例題一 試求炸彈射程 A ，設地速 $W = 60$ 公尺/秒；炸彈下墜時間 $T = 30$ 秒；退曳程 $\Delta = 260$ 公尺。

答案：

1. 按航空算尺，利用正方形之指針，可求得 $W \cdot T$ 之值；即：

$$W \times T = 1800 \text{ 公尺}$$

2. 自飛機行程中減去退曳程，則射程

$$A = W \times T - \Delta = 1540 \text{ 公尺}$$

例題二 試求炸彈射程 A ，設：

飛機地速 $W = 230$ 公里/時

炸彈下墜時間 $T = 20$ 秒

退曳程 $\Delta = 140$ 公尺

答案：

1. 按航空算尺，利用圓形指針可求得：

$$WT = 1280 \text{ 公尺}$$

2. 自飛機行程減去退曳程，則可得射程

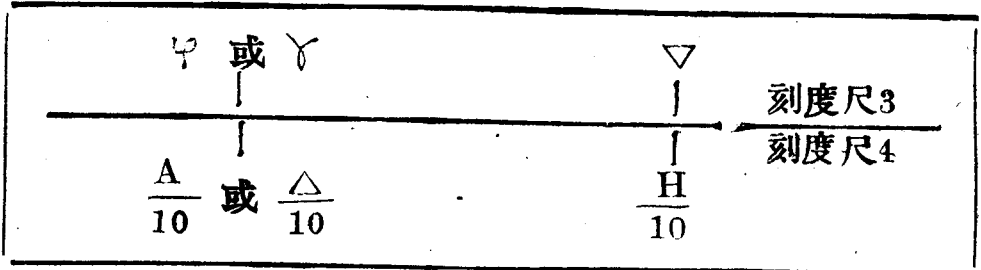
$$A = W \times T - \Delta = 1140 \text{ 公尺}$$

投彈角之值，可利用航空算尺之第三刻度尺與第四刻度尺求得之。

於計算時，(見第十九圖)須將第三刻度尺之三角形指針 (∇) (係表示 45° 度者)，對準第四刻度尺上高度 H 之刻度，則在第三刻度上，與第四刻度尺射程 A 相對之刻度，即為投彈角之數值。

第 十 九 圖

應用航空算尺計算投彈角或退曳角之使用法



因第四刻度尺上，最大之值等於 1000，而投彈高度常超過一、〇〇〇公尺，故應用航空算尺時，高度 H 與射程 A 之值均縮小十倍。在此種情況下， $\frac{A}{H}$ 比例之值不變。

退曳角 γ 亦可利用航空算尺之第三及第四刻度尺求得之，其公式為：

$$\tan \gamma = \frac{A}{H}$$

三角形指針，仍與縮小十倍之高度 $\left(\frac{H}{10}\right)$ 相對，則與縮小十倍之退曳程相對立之刻度，即其退曳角。

例題一 試求投彈角 φ ，設：

炸彈射程 $A = 1540$ 公尺

投彈高度 $H = 4000$ 公尺

答案：

使三角形指針與 $\frac{H}{10}$ 之刻度相對 $\left(\frac{H}{10} = \frac{4000}{10} = 400\right)$ ，則與 $\frac{A}{10}$ 相對之刻度 $\left(\frac{A}{10} = \frac{1540}{10}\right)$

$=154)$ ，即為投彈角 $\varphi = 31^\circ$

例題二 試求退曳角 γ ，設：

退曳程 $\Delta = 140$ 公尺

投彈高度 $H = 1800$ 公尺

答案：

$$\gamma = 4^\circ 30'$$

例題三 試求 $\pi-25$ 式炸彈彈道之諸原素，

設：投彈之高度 $H = 3000$ 公尺；

空速 $V = 240$ 公里/時

順風 $U = 55$ 公里/時

答案：

1. 在第五附錄之彈道表內可求得：

$$T = 26,7 \text{ 秒}$$

$$\Delta = 297 \text{ 公尺} \approx 300 \text{ 公尺}$$

$$\gamma = 5^\circ 49' \approx 5^\circ 30'$$

2. 求地速 W 之值：

$$W = V + U = 240 + 55 = 295 \text{ 公里/時}$$

3. 按航空算尺第一及第二刻度尺可求得：

$$W \times T = 2190 \text{ 公尺}$$

4. 射程

$$A = W \times T - \Delta = 1890 \text{ 公尺}$$

5. 按航空算尺第三及第四刻度尺可求得

$$\varphi = 32^\circ$$

例題四 試求 $\tau-10$ 式炸彈之彈道諸原素，

設：投彈之高度 $H = 7000$ 公尺

空速 $V = 320$ 公里/時
 逆風 $U = 80$ 公里/時

答案：

1. $T = 41, 8$ 秒； $\Delta = 730$ 公尺； $\gamma = 6^\circ$ ；
2. $W = V - U = 320 - 80 = 240$ 公里/時
3. $W \times T = 2790$ 公尺
4. $A = W \times T - \Delta = 2060$ 公尺
5. $\tan \varphi = \frac{2060}{7000}$ ； $\varphi = 16^\circ, 5$

練習問題

1. 動空氣中炸彈之彈道由何種因素形成之？
2. 在風向平面中投彈時，飛機之地速如何？
3. 炸彈在動空氣中之彈道為何種運動之結果？
4. T ， Δ 及 γ 之數值與何者有關？
5. T ， Δ 及 γ 之數值是否依地速而變，其故安在？
6. 在風向平面投彈時，應用何公式以計算炸彈之射程與射角(投彈角)？
7. 如何使用航空算尺，以計算炸彈之射程 A ？
8. 如何使用航空算尺，以計算投彈角及退曳角？
9. 計算彈道之諸原素時自彈道表內所取之各數值，其誤差在何範圍內，即可稱為正確？

第九節

T ， Δ ， γ ， A 及 φ 諸值對 θ ， H ， V 及 W 諸值之關係

在風向平面中投彈時，炸彈彈道之各原素，係根據下列各值而變：

1. 炸彈之特徵時間 θ
2. 投彈之高度 H
3. 飛機之空速 V
4. 飛機之地速 W

今試研究因上列四值之變化，彈道各原素所生之變化如何。

特徵時間 θ 之增加，即表示炸彈特性之惡化。因此空氣阻力之加速度之值，在同一諸元之下 (V, H, W 不變)，亦將增加，且彈道之形式，亦較峻峭。

因此結果，炸彈之下墜時間 T 增加，退曳程 Δ 及退曳角 γ 亦增加，而炸彈之射程 A 與射角 ϕ 則減小。

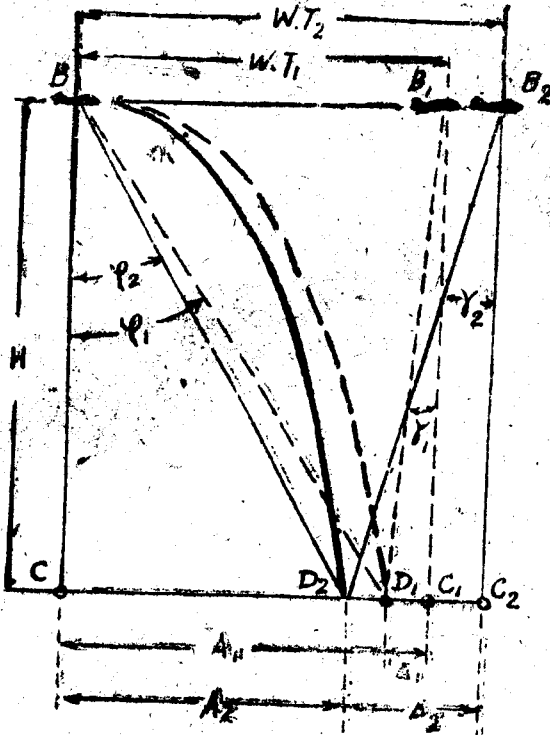
在第二十圖中，炸彈之彈道，其特徵時間 θ 較少者，以虛曲線表示之，屬於該彈道之點及其他數值均標誌以數字 '1'，至其特徵時間 θ 較多之彈道，則以實曲線表示之，屬於該彈道之一切數值與點，均標誌以數字 '2'。

該圖表之構成，係根據下列之推論：

設自 B 點同時投下炸彈二枚，第一之特徵時間 θ 較少，而第二者則較大。則在第一炸彈下墜時間 T_1 內，飛機之經過行程為 $W \times T_1$ ，在炸彈着地時（在 D_1 點），飛機在 B_1 點上，退曳角為 γ_1 ， CD_1 之距離，即炸彈射程 A_1 ，而 C_1D_1 之距離，則為炸彈之退曳程 Δ_1 。

第二炸彈之下墜時間 T_2 較 T_1 為大，故在炸彈着地時飛機居於 B_2 點上；第二炸彈之射程 A_2 較第一炸彈之射程 A_1

第二十圖



為小，因此，該炸彈之着地點，應在比 D_1 較近於 C 點之 D_2 點上， $(CD_2 = A_2)$ 。

C_2D_2 之距離，係第二炸彈之退曳程 Δ_2 ，而 B_2D_2 直線與垂直線所夾之角，即為第二炸彈之退曳角 γ_2 。

因此，第二炸彈退曳程之增加，係兩種原因之結果：

- 第一、飛機在炸彈下墜時間內行程增加；
- 第二、該炸彈之射程較第一炸彈（其特徵時間 θ 較少者）之射程為小。

例題 試求 $\pi-25$ 式炸彈 ($\theta_1 = 21.3$ 秒) 與 $\tau-7$ 式炸彈 ($\theta_2 = 23$ 秒) 之彈道原素之間有何差別？設該二炸彈均在風向平面內投下，其投彈高度 $H=20$

00公尺； $V=140$ 公里/時； $W=155$ 公里/時。

答案：

1. T 、 Δ 及 γ 之數值，可自彈道表內求出：

對於 $\theta_1=21,3$ 秒： $T_1=21,3$ 秒；

$\Delta_1=100$ 公尺； $\gamma_1=3^\circ$ ；

對於 $\theta_2=23$ 秒： $T_2=23$ 秒；

$\Delta_2=240$ 公尺； $\gamma_2=7^\circ$

2. 用航空算尺可求得：

對於 $\theta_1=21,3$ 秒； $W \times T_1=920$ 公尺；

$A_1=920-100=820$ 公尺； $\varphi_1=22^\circ,5$

對於 $\theta_2=23$ 秒； $W \times T_2=990$ 公尺；

$A_2=990-240=750$ 公尺； $\varphi_2=20^\circ,5$

3. 設自附有標誌"2"之數值內，分別減去附有

標誌"1"之數值，則在上述之投彈條件下，

(即 H 、 V 、 W 之值不變)，可得 $\pi-7$ 式炸

彈($\theta_2=23$ 秒)對 $\pi-25$ 式炸彈($\theta_1=21,3$

秒)之比：

A. 其下墜時間多1,7秒

$T_2-T_1=23-21,3=1,7$ 秒

B. 其退曳程大140公尺

$\Delta_2-\Delta_1=240-100=140$ 公尺

C. 其退曳角大 4°

$\gamma_2-\gamma_1=7^\circ-3^\circ=4^\circ$

D. 飛機在炸彈下墜時間內之行程大70公尺

$W \times T_2-W \times T_1=990-920=70$ 公尺

E. 其投彈角少 α 度

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 20^\circ, 5 - 20^\circ, 5 - 20^\circ$$

在其他條件(如 θ, V, W)不變時，如投彈之高度增加，則下墜時間 T ，炸彈退曳程 Δ ，及炸彈射程 A 均將增加。退曳角則變動不大，根據第七節所述，開始時，逐漸增大，然後，在某段高度中，其值不變，最後又逐漸減少。飛機之空速愈大，及炸彈之彈道特性愈壞，則退曳角增至最大時之高度愈低。

如根據彈道圖表研究退曳角之變動，則更明顯：

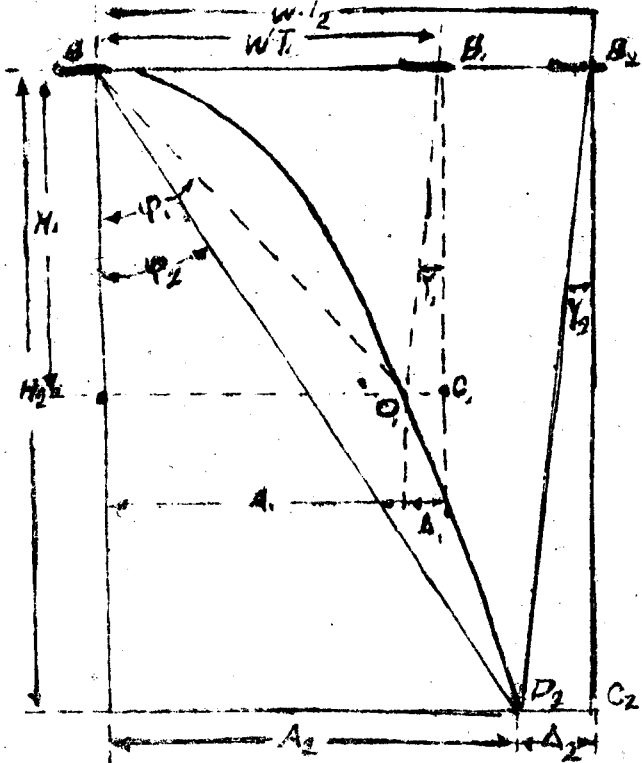
1. 當 $\theta = 21$ 秒及 $V = 240$ 公里/時，高度 H 在 8000 公尺以內時，退曳角之值，依高度增加而增加，至 $H = 10000$ 公尺以上時，則其值漸減少。
2. 當 $\theta = 21$ 秒及 $V = 360$ 公里/時時，退曳角之增加，僅至高度 $H = 2000$ 公尺為止。
3. 在 $\theta = 23$ 秒及 $V = 200$ 公里/時，則退曳角在 3200—3600 公尺高度中，能達到最大數值。
4. 在 $\theta = 23$ 秒及 $V = 240$ 公里/時時，退曳角之最大數值恰在高度 $H = 3000$ 公尺時。

因射程之增加，較高度為慢，故由公式 $\left(\operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{H} \right)$ 所

決定之投彈角，亦因高度之增加而減少，此可由彈道之本身特徵中看出。

在第二十一圖上，虛曲線係表示在低空 H_1 投彈之彈道，對於此高度之彈道之點與數值，均以數字 „1” 標誌之。對於高空 H_2 投彈，其彈道之點與數值，則以數字 „2” 標

第 二 十 一 圖



誌之。

例題 試求 $\pi-40$ 式炸彈彈道各原素之變化值，設其投彈高度自 $H_1=2000$ 公尺增至 $H_2=10000$ 公尺，且在該兩種情況下，均在風向平面內投彈，其空速 $V=360$ 公里/時，其地速 $W=390$ 公里/時。

答案：

1. 根據彈道表：

對於 $H_1=2000$ 公尺； $T_1=21,2$ 秒；

$\Delta_1=250$ 公尺； $\gamma_1=7^\circ 10'$

對於 $H_2=10000$ 公尺； $T_2=51,6$ 秒；

$$\Delta_2 = 1180 \text{公尺}; \gamma_2 = 6^\circ 45';$$

2. 用航空算尺可求得：

對於 $H_1 = 2000$ 公尺； $W \times T = 1890$ 公尺；

$$A_1 = 1890 - 250 = 1640 \text{公尺};$$

$$\varphi_1 = 39^\circ 5';$$

對於 $H_2 = 10000$ 公尺； $W \times T_2 = 4600$ 公尺；

$$A_2 = 4600 - 1180 = 3420 \text{公尺};$$

$$\varphi_2 = 19^\circ;$$

3. 設自附有標誌 '2' 之數值內減去對有標誌 '1' 之數值，則可求得，自投彈高度 $H_1 = 2000$ 公尺增至 $H_2 = 10000$ 公尺時，各彈道原素之變化如下：

A. 下墜時間增加 30,4 秒；

$$T_2 - T_1 = 51,6 - 21,2 = 30,4 \text{秒}$$

B. 退曳程增加 930 公尺；

$$\Delta_2 - \Delta_1 = 1180 - 250 = 930 \text{公尺}$$

C. 退曳角減少 25'；

$$\gamma_2 - \gamma_1 = 6^\circ 45' - 7^\circ 10' = \dots 0^\circ 25'$$

D. 飛機在炸彈下墜時間內之行程增加 2710 公尺；

$$W \times T_2 - W \times T_1 = 4600 - 1890 = 2710 \text{公尺}$$

E. 炸彈之射程增加 1780 公尺；

$$A_2 - A_1 = 3420 - 1640 = 1780 \text{公尺}$$

F. 投彈角減少 20°, 5；

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 19^\circ - 39^\circ, \delta = -20^\circ, 5$$

因飛機空速之增加，炸彈空速 V_b 之水平組成速度 V_x 亦因之增加，炸彈空速 V_b 本身亦增加。

根據第四節之公式：

$$a_x = \frac{K \times S}{m} \times V_x \times V_b \quad (3)$$

$$a_y = \frac{K \times S}{m} \times V_y \times V_b \quad (14)$$

在此種情況下，空氣阻力之水平組成加速度 a_x 與其垂直組成加速度 a_y 亦均見增加。 a_x 之增加，係因 V_x 與 V_b 增加之故，而 a_y 之增加，則僅因 V_b 增加之故。

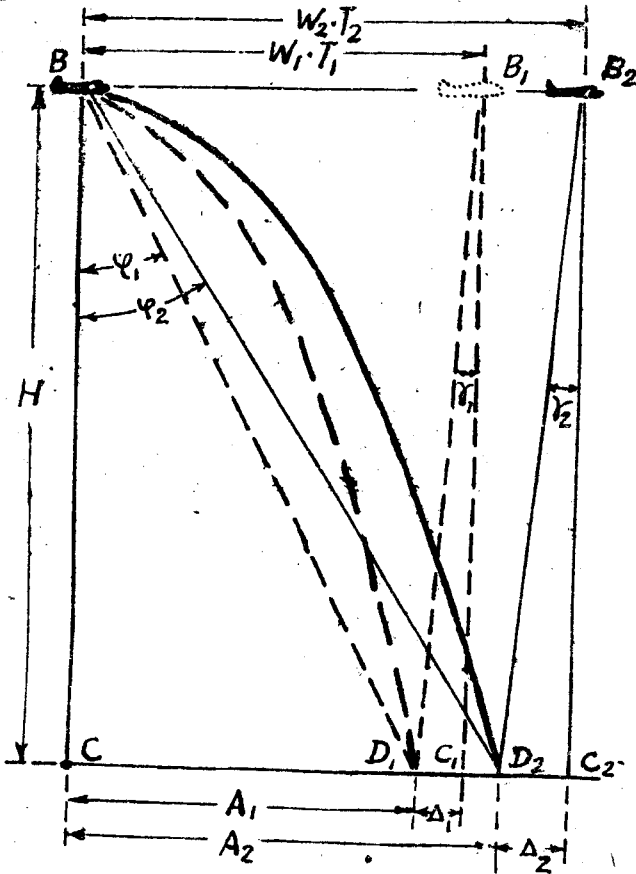
因 a_x 增加，炸彈退曳程及退曳角 γ 亦增加。因 a_y 增加，炸彈之下墜時間 T ，亦隨之增加（但增加不大）。因 V_x 增加，射程 A ，亦增長。

因在風向平面投彈時，飛機之地速 $W = V \pm U$ ，而炸彈射程 $A = A_0 \pm U \times T$ ，故在不變之風向中，空速之增加，能引起飛機地速 W ，射程 A ，及射角 φ 之增加。

在第二十二圖內，虛曲線表示在較小空速 V_1 投彈之彈道而與之有關之一切數值及點均以數字 "1" 標誌之。實曲線則表示在較大空速 V_2 投彈之炸彈彈道，而與其有關之一切數值與點，則均以數字 "2" 標誌之。（詳見第二十二圖）

例題 試求 $\pi-2$ 式炸彈彈道各原素之變化值，設其空速自 $V_1 = 140$ 公里/時增至 $V_2 = 240$ 公里時，其投彈高度 $H = 6000$ 公尺；在風向平面投彈；風速 $U = 50$ 公里/小時。

第二十二圖



答案：

1. 在 $V_1 = 140$ 公里/時； $T_1 = 39,3$ 秒；
 $\Delta_1 = 320$ 公尺； $\gamma_1 = 3^\circ$ ；
 在 $V_2 = 240$ 公里/時； $T_2 = 39,4$ 秒；
 $\Delta_2 = 600$ 公尺； $\gamma_2 = 5^\circ,5$ ；
2. 在 $V_1 = 140$ 公里/時；
 $W_1 = V_1 + U = 190$ 公里/時；
 $W_1 \times T_1 = 2070$ 公尺； $A_1 = 1750$ 公尺；

$$\varphi_1 = 16^\circ, 5;$$

在 $V_2 = 240$ 公里/小時;

$$W_2 = V_2 + U = 290 \text{ 公里/小時};$$

$$W_2 \times T_2 = 3170 \text{ 公尺}; A_2 = 2570 \text{ 公尺};$$

$$\varphi_2 = 23^\circ;$$

3. 在空速自 $V_1 = 140$ 公里/時增至 $V_2 = 240$ 公里/時之情況下:

(一) 炸彈下墜時間增加 0,1 秒;

$$T_2 - T_1 = 39,4 - 39,3 = 0,1 \text{ 秒}$$

(二) 退曳程增加 280 公尺;

$$\Delta_2 - \Delta_1 = 600 - 320 = 280 \text{ 公尺}$$

(三) 退曳角增加 $2^\circ, 5$ 度;

$$\gamma_2 - \gamma_1 = 5^\circ, 5 - 3^\circ = 2^\circ, 5$$

(四) 地速增加 100 公里/時;

$$W_2 - W_1 = 290 - 190 = 100 \text{ 公里/時}$$

(五) 飛機在炸彈下墜時間內之行程，增加 1100 公尺;

$$W_2 \times T_2 - W_1 \times T_1 = 3170 - 2070 = 1100 \text{ 公尺}$$

(六) 射程增加 820 公尺;

$$A_2 - A_1 = 2570 - 1750 = 820 \text{ 公尺}$$

(七) 投彈角增加 $6^\circ, 5$ 度;

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 23^\circ - 16^\circ, 5 = 6^\circ, 5$$

因空速或風之變化，可引起地速之變化。

關於因空速關係而使地速增加時，彈道諸原素所發生之

變化前已論及。

T 、 Δ 及 γ 諸數值與風無關，故因風而增加之地速，對於 T 、 Δ 及 γ 諸值，亦無影響。

因 $A = W \times T - \Delta$ ，故因風之變化，而增加地速時，炸彈之射程亦增加。且射程之增加正等於飛機在炸彈下墜時間內行程之增加值。

因射程之增加，投彈角 φ 亦隨之增大。

例題 在風向平面中，自高度 $H = 6000$ 公尺投下 7.1-25 式之炸彈二枚；第一枚逆風投下，第二枚順風投下，試求該炸彈各原素之差別，設在兩種情況下，飛機之空速 $V = 240$ 公里/時，而風速 $U = 50$ 公里/時。

答案：

1. 在兩種情況下 $T = 39.4$ 秒； $\Delta = 600$ 公尺；

$$\gamma = 5^\circ.5$$

2. 逆風所投之彈： $W_1 = V - U = 190$ 公里/時；

$$W_1 \times T = 2080 \text{公尺}； A_1 = 1480 \text{公尺}；$$

$$\varphi_1 = 14^\circ$$

順風所投之彈： $W_2 = V + U = 290$ 公里/時；

$$W_2 \times T = 3170 \text{公尺}； A_2 = 2570 \text{公尺}；$$

$$\varphi_2 = 23^\circ；$$

3. 順風投彈與逆風投彈之比較：

(一) 飛機地速多 100 公里/時；

$$W_2 - W_1 = 290 - 190 = 100 \text{公里/時}$$

(二) 飛機在炸彈下墜時間內之行程多 1090 公尺

尺；

$$W_2 \times T - W_1 \times T = 3170 - 2080 = 1090$$

公尺；

(三) 射程增加1090公尺；

$$A: - A_1 = 2570 - 1480 = 1090 \text{公尺}$$

(四) 投彈角增大9度；

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 23^\circ - 14^\circ = 9^\circ$$

(五) T ， Δ 及 γ 之數值，在兩種情況下皆相等。

下列圖表，係說明彈道諸原素對 θ ， H ， V 及 W 諸值之關係。(參看第83頁)

練 習 問 題

1. 在無側風時，彈道各原素之值，依何設值計算之？
2. 當 θ 增加時，彈道各原素發生之變化如何，其理由何在？
3. 當 θ 增加時，如何以圖表示彈道及其諸原素之變化？
4. 當投彈高度增加時，彈道諸原素之變化如何，其理由何在？試用圖表說明之。
5. 當飛機空速增加時，彈道諸原素之變化如何，其理由何在？試用圖表說明之。
6. 當地速增加時，發生變化之彈道原素為何，及其變化如何？
7. 試製一表，說明 T ， $W \times T$ ， Δ ， γ ， A 及 φ 諸值

與 θ , H , V 及 W 關係之變化。

增 變 加 化	θ	H	V	W 因 U 而增加	標誌之說明
T	+	+	⊕	○	+ 增加
W.T	+	+	+	+	- 減少
Δ	+	+	+	○	○ 不變
γ	+	⊕ ⊖	+	○	⊕ 略增 ⊖ 略減
A	-	+	+	+	⊖ 略減
φ	-	-	+	+	

第十節 側風投彈之彈道諸原素

實際投彈時，在靜氣中與在風向平面中投彈之機會甚少。蓋因完全無風(靜氣)之現象甚鮮。如使向目標航行之方向，與風向一致，在戰略上既不利，且常為不可能。

大多數之投彈，係在側風中進行。

在此種情況下，飛機地速之方向，與飛機軸心之方向，成一角度，（即與飛機空速之方向成一角度）。

由投彈點循飛機地速之方向前進之水平線，謂之戰鬥行程線，（以後簡稱航跡）。

由航跡所引伸之垂直平面，謂之戰鬥行程平面（以後簡稱航跡平面）。

循風向所引伸之水平線，謂之風線。

由風線所引伸之垂直平面，謂之風向平面。

子午線與航向平面間之角度，謂之戰鬥航向（以後簡稱航向）。

子午線與航跡平面間之角度，謂之戰鬥行程角（以後簡稱航跡角）。

如自真子午線計算時，則航向與航跡角，謂之真戰鬥航向與真戰鬥行程角（以簡稱後真向與真航跡角）。

因普通計算，皆自磁氣子午線起，故復有戰鬥磁氣航向（以後簡稱磁向）及戰鬥磁氣行程角（以後簡稱磁航跡角）之稱。

如航程之計算，自羅盤南北線起時，則稱之為戰鬥羅盤航向（以後簡稱羅向）。

磁氣子午線與風向平面間之角度，謂之風向，用 δ 表示之。（希臘字母讀如 "delta" 與大寫 Δ 不同）。

向航，航跡角及風向，均自子午線起，按時針方向計算，自 0° 至 360° 。

航向平面與航跡平面間之角度謂之偏流角，用 ω 表示之（希臘字母讀如 "omega"）。

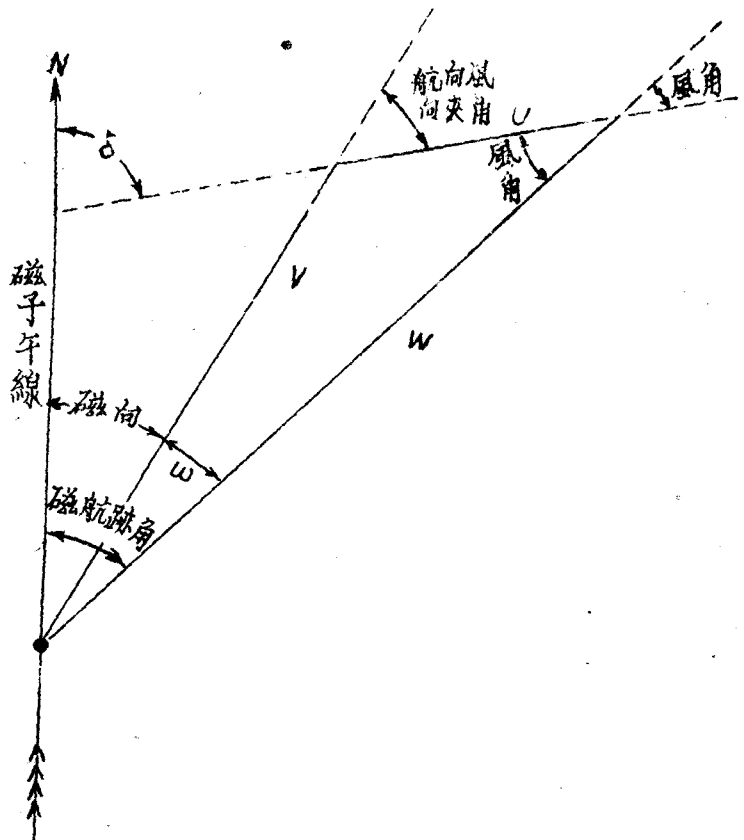
偏流角係自航向平面向左右兩方向計算之，在航向之右者為正，在左者為負。

航跡平面與風向平面間之角度，謂之風角。

航向平面與風向平面間之角度，謂之航向風向夾角。

風角及航向風向夾角，係按時針方向，自航跡平面及航向平面，計算至風向平面，其變化自 0° 至 930° 。

第二十三圖



上述各角之相互關係（第二十三圖），以下列公式表示之：

$$\text{磁航跡角} = \text{磁向} + \text{偏流角}$$

(30)

附註：上列之公式係爲代數和，故在 α 爲正值時，航跡角之絕對值大於航向，而在 α 爲負值時，則航跡角小於航向。

$$\text{航向風向夾角} = \text{風向} - \text{航向} \quad (51)$$

$$\text{風角} = \text{風向} - \text{航跡角} \quad (52)$$

$$\text{風角} = \text{航向風向夾角} - \text{偏流差} \quad (53)$$

附註：上列各公式爲代數差，故在 α 爲正值時，風角之絕對值小於航向風向夾角，而在 α 爲負值時，則風角大於航向風向夾角。

飛機之地速 W 爲空速 V 與風速 U 之合速。

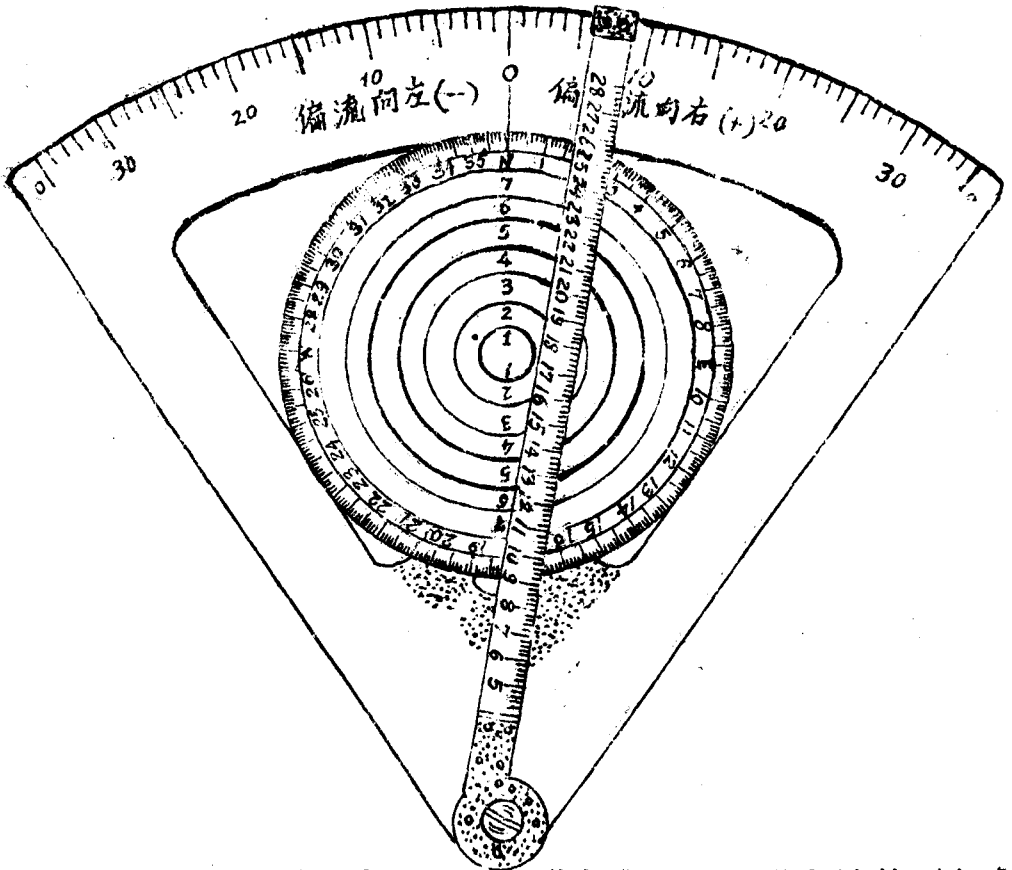
爲計算偏流角及地速之值起見，可畫一所謂航行之速度三角形。該三角形之兩邊代表空速與風速二動徑，其他一邊，即爲代表地速之動徑，而空速與地速兩動徑所夾之角，即爲偏流角。

以圖表方法計算地速與偏流角時，常應用測風儀（如第二十四圖）。

測風儀之功用，在航行學上有詳細之說明，故在此不加詳述，僅將其使用方法擇述如下：

1. 測風儀中直尺之旋轉中心，爲空速及地速二動徑之起點；其刻度圓盤之中心，則爲空速動徑之終點，與風速動徑之起點；風點爲風速與飛機地速二動徑之交叉點。
2. 圓形刻度盤之中心與長尺旋轉中心之距離，等於空速 V 之數值；而自長尺之旋轉中心，至風點，則爲飛機地速 W 之值。

第二十四圖



3. 在圓形刻度盤上，以磁向對準測風儀之法線（即對準測風儀偏流角刻度盤上之正中刻度）。當長尺之外緣，對準風點時，則在偏流角刻度盤上，可讀出偏流角 ω 之數值。

在動空氣中投彈之炸彈彈道，係由該炸彈之兩種不等值運動之結果：

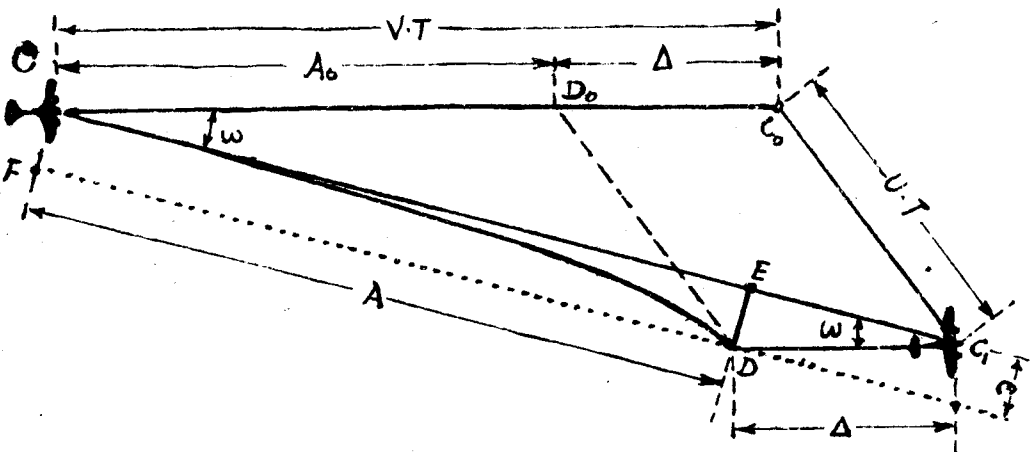
1. 由於在空氣中之運動，該運動能引起空氣之抵抗。
2. 由於與空氣全面積一致之轉移運動，不引起任何抵抗。

第一種運動，係按減速度之曲線進行，即為炸彈之空中彈道。

第二種運動成直線與等速之運動，且按風向與風速進行。

今試研究在爆炸地平面上炸彈彈道之投影圖（第二十五圖）。

第 二 十 五 圖



設 C 點為投彈點在爆炸地平面上之投影，而 CC_0 直線則為航向之投影。

設無風時，則 CC_0 直線即同時為航跡之投影。在炸彈爆炸時，飛機處於 C 點上，其離 C 點之距離，等於 $V \cdot T$ ；炸彈之爆炸亦將在 CC_0 之直線上（在 D_0 點上），自 C 點至 D_0 點之距離，則為在靜氣中之射程（ A_0 ），自 C_0 點至 D_0 點之距離，則為退曳程（ Δ ）。

炸彈之彈道將在航向平面與航跡平面之同一平面上，且其在爆炸地平面上之投影亦將為一直線 $CD_0 = A_0$ 。

在側風中，飛機在炸彈下墜時間內，將循着風向，而有

U·T 之移動；在炸彈爆炸時，飛機在 C_1 點上，直線 CC_1 爲航跡之投影。

直線 CC_1 與 CC_0 間之角度，即爲偏流角 (ω)。在炸彈爆炸時，飛機之中央對稱垂平面，係在 C_1D 之直線上。炸彈在其下墜時間內，亦與飛機同，將循着風之方向，而有 U·T 之移動。所以其爆炸不在 D 點上，而在 D 點上，該點在飛機之後方及其中央對稱之垂平面上。自 C_1 點至 D 點，爲其退曳程 Δ (按第二十五圖 $C_1D = C_0D_0 = \Delta$)。

如此，則炸彈爆炸點，離開航跡平面；炸彈之彈道，不在航跡平面上，而偏出於風吹之下方，且其在爆炸地平面上之投影，亦將爲一曲線，即 C 點與 D 點之聯接線。

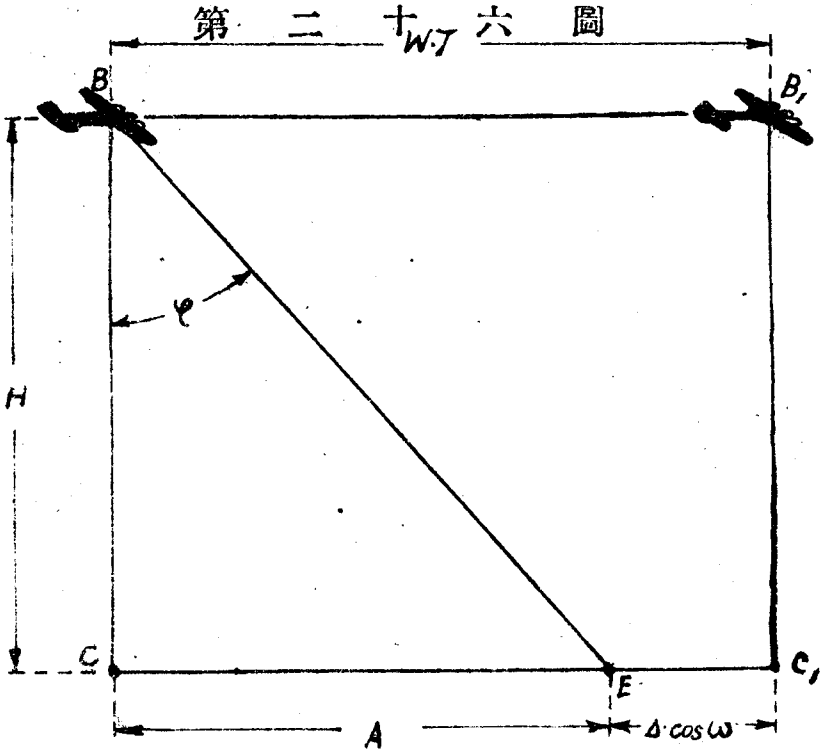
在側風中，炸彈之彈道，含有雙重曲度。蓋因其一方面，在縱之方向上爲一曲線，另一方面，在橫之方向上亦爲一曲綫。

自炸彈爆炸點 D 至飛機航跡之水平距離，謂之彈着偏差。用字母 δ 表示之。由爆炸點 D 引一與航跡平行之直線，稱爲爆炸線。

炸彈之射程，係在航跡平面上計算之。在第二十五圖上，炸彈之射程爲直線 CE，C 點係投彈點在爆炸地平面上之投影；而 E 點則係爆炸點引至航跡平面之垂直線之底點。

如此，對炸彈射程及投彈線可予以如下之定義：

- (一) 自在爆炸地平面上投彈點之投影，至在航跡平面上爆炸點之投影之距離，謂之炸彈射程。
- (二) 自投彈點至在航跡平面上爆炸點之投影之直線，謂之投彈線。



在第二十六圖上B點係投彈點，BE 線係投彈線，CBE 角係投彈角φ。

自第二十五圖及第二十六圖可見：

$$CE = CC_1 - EC_1$$

$$CE = A$$

$$CC_1 = BB_1 = W \times T$$

在DEC₁ 直角三角形內，CD₁E 角等於偏流角(ω)，ED₁ 為與該角相鄰之一切邊，DC₁ 等於炸彈之退曳程Δ，且為 DEC₁ 直角三角形之斜邊。根據三角學之定理：

「在直角三角形內，任一銳角之鄰切邊，等於斜邊乘以該角之餘弦(CoS)」，因此，

$$EC_1 = \Delta \cdot \cos \omega$$

故 $A = W \cdot T - \Delta \cdot \cos \omega$ (34)

由此可見，在側風中投彈之炸彈射程，與偏流角有關。在靜氣中，或在風向平面中投彈時，偏流角等於零：

$$\omega = 0^\circ; \quad \cos 0^\circ = 1;$$

$$A = W \cdot T - \Delta \cdot 1 = W \cdot T - \Delta$$

Γ 爲 $\cos \omega < 1$ 所以

$$A = W \cdot T - \Delta \cdot \cos \omega > W \cdot T - \Delta$$

在 DEC_1 直角三角形內(見第二十五圖)：

$$DE = DC_1 \sin \omega$$

即 $\delta = \Delta \cdot \sin \omega$ (35)

由此公式可知彈着偏差 δ 之值，係與炸彈之退曳程成正比例，且與偏流角直接有關。設彈着偏差係自航跡平面、向右偏時，則稱其值爲正(+)，如向左時則稱爲負值(-)。

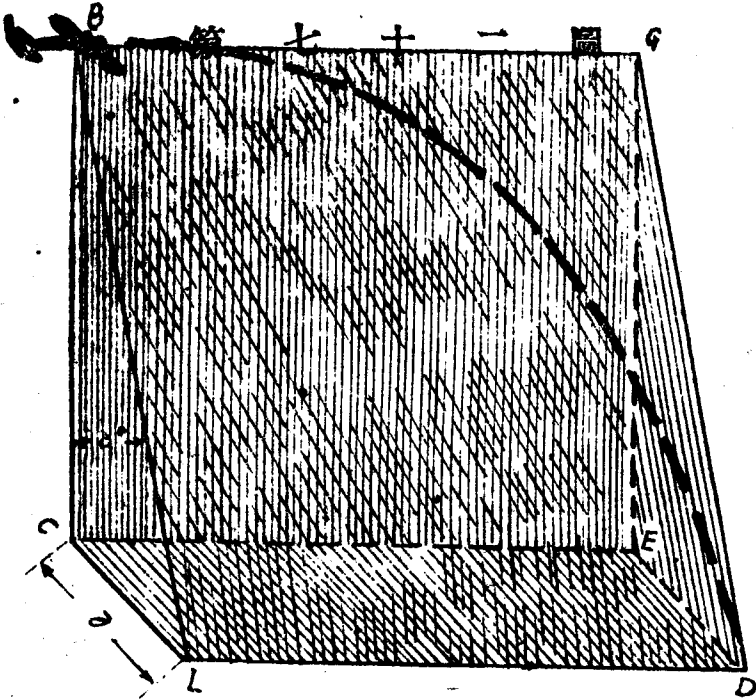
當偏流角等於零時，即在靜空氣中或在風向平面中投彈時，則彈着偏差等於零($\delta = \Delta \cdot \sin 0^\circ = 0$)，炸彈之爆炸，發生於航跡，航向之同一平面上。

如無空氣阻力時，則炸彈之退曳程等於零；因此在任何側風中彈着偏差等於零($\delta = 0 \cdot \sin \omega = 0$)，則炸彈之爆炸，發生於航跡平面上。

由投彈點B(見第二十七圖)及爆炸線(LD)所引伸之平面，謂之投彈平面(BGDL平面)。

航跡平面 BGEC 與投彈平面間之角度，稱爲彈着偏差角，用 δ° 表示之。

如投彈平面在航跡平面之右時，則彈着偏差角，稱爲



正值 +)，如在左時，則稱之為負值(-)。

上述之二平面在橫斷面上視之(第二十八圖)則形成 BC (航跡平面)，及 BL (投彈平面) 二直線。CL 直線為彈着偏差 δ ，而 BC 直線，則為投彈之高度 H，LBC 角為彈着偏差角 δ° 。

在直角三角形 BCL 內

$$\text{tg } \delta^\circ = \frac{\delta}{H}$$

今將 δ 之數值 ($\delta = \Delta \cdot \text{Sin } \omega$) 代入上式，則得

$$\text{tg } \delta^\circ = \frac{\Delta \cdot \text{Sin } \omega}{H}$$

但

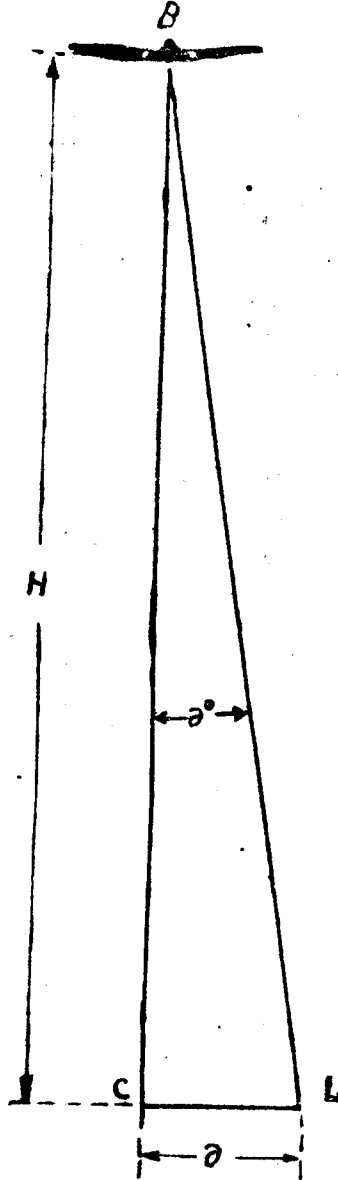
$$\frac{\Delta}{H} = \text{tg } \gamma$$

故

$$\text{tg } \delta^\circ = \text{tg } \gamma \cdot \text{Sin } \omega$$

(26)

第二十八圖



第二十九圖係表示在側風中投彈彈道之空間狀態。飛機在B點投彈，垂直平面BB₀C。C為航向平面。水平面BB₀B₁K為投彈水平面。

垂直平面 $BKLC$ 爲風向平面，(與之平行之 $B_0B_1C_1C$ 平面亦同)。

垂直平面 BB_1C_1C 爲航跡平面。

如無風時，則當炸彈爆炸時，飛機應在 B_0 點，($BB_0 = V \cdot T$)，而炸彈之爆炸，當發生於 D_0 點，該點位於飛機之後方，且在其中央對稱垂直平面上，其退曳角爲 γ 。($CD_0 = A_0$; $C_0D_0 = \Delta$)

在動空氣中，飛機在炸彈爆炸時，處在 B_1 點，($B_0B_1 = U \cdot T$)。

當炸彈爆炸時，垂直平面 B_1KLC_1 爲飛機之中央對稱垂直平面。

炸彈之爆炸發生於 D 點，($D_0D = U \cdot T$)，該點仍位於飛機之後方，且在其中央對稱垂直平面及退曳角 γ 上，($DC_1 = \Delta$; $B_1C_1 = H$; $\tan \gamma = \frac{DC_1}{B_1C_1} = \frac{\Delta}{H}$)，而 LC_1C_0C 水平

面則爲爆炸地平面。

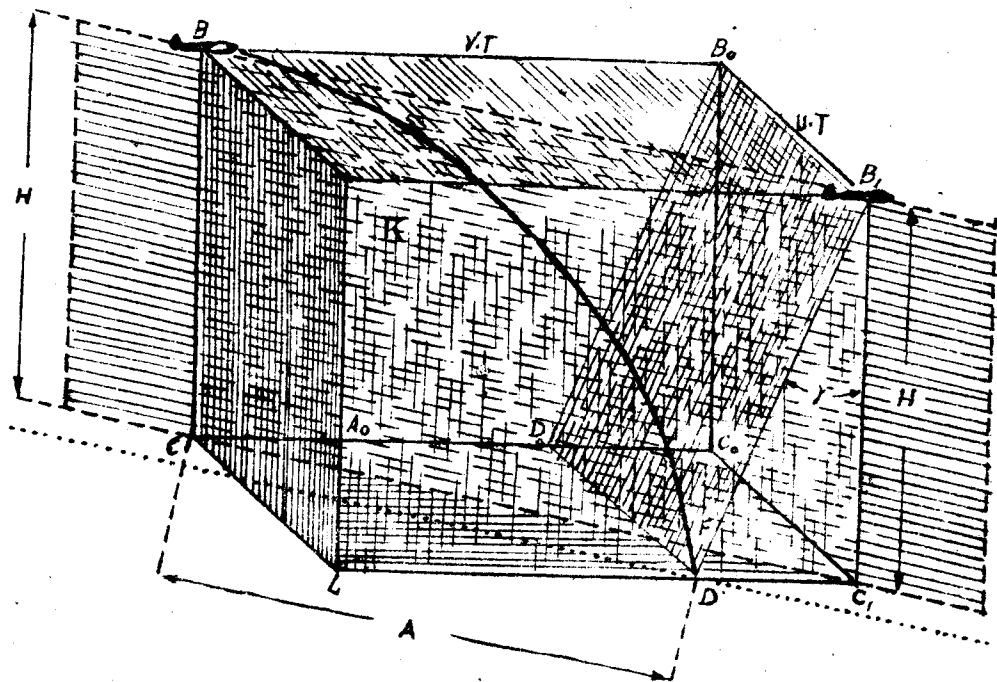
炸彈彈道，形成爲 BD 曲線。

CE 直線爲炸彈射程 A ， DE 直線爲彈着偏差 δ 。

因此，在一般之情況中炸彈彈道有六種原素：

1. 退曳程 Δ ;
2. 退曳角 γ ;
3. 炸彈射程 A ;
4. 投彈角 φ ;
4. 彈着偏差 δ ;
6. 彈着偏差角 δ° ;

第二十九圖



計算彈道原素之正確公式爲：

$$\Delta = V \cdot T - A_0; \quad (93)$$

$$t \cdot \gamma = \frac{\Delta}{H}; \quad (24)$$

$$A = W \cdot T - \Delta \cos \omega; \quad (34)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{A}{H}; \quad (7)$$

$$\delta = \Delta \cdot \sin \omega ; \quad (35)$$

$$\operatorname{tg} \delta^{\circ} = \frac{\delta}{H} = \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \omega ; \quad (36)$$

例題 試求 $\pi-7$ 式炸彈之彈道各原素，設其空速 $V=240$ 公里/時；投彈高度 $H=4000$ 公尺；地速 $W=220$ 公里/時；偏流角 $\omega = -20^{\circ}$ 。

答案：

1. 按彈道表求得：

$$T=35,5 \text{ 秒} ; \Delta=950 \text{ 公尺} ; \gamma=13^{\circ},5 ;$$

2. 按三角函數表求得：

$$\sin \omega = \sin(-20^{\circ}) = 0,342 ;$$

$$\cos \omega = \cos(-20^{\circ}) = 0,94 ;$$

由此 $\Delta \cdot \cos \omega = 950 \cdot 0,94 = 890$ 公尺

$$\delta = \Delta \cdot \sin \omega = 950 \cdot (-0,342) = -320 \text{ 公尺}$$

3. 用航空算尺求得：

$$W \cdot T = 2170 \text{ 公尺} ; A = W \cdot T - \Delta \cdot \cos \omega \\ = 2170 - 890 = 1280 \text{ 公尺}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{H} = \frac{1280}{4000} ; \varphi = 18^{\circ} ; \operatorname{tg} \delta^{\circ} = \frac{\delta}{H} = -\frac{320}{4000} ;$$

$$\delta^{\circ} = -4^{\circ},5$$

普通計算炸彈射程 A ，彈着偏差 δ 及彈着偏差角 δ° 時，多用近似公式計算之。

射程之正確公式為

$$A = WT - \Delta \cdot \cos \omega \quad (34)$$

因角度微小之餘弦值，幾等於一，故設偏流角不超過 30°

度 ($\text{Cos} 30^\circ = 0,87$)，在實際投彈中，如取 $\text{Cos } \omega = 1$ ，尚不失相當正確，故第(34.)公式可變為第(29)公式，即

$$A = WT - \Delta$$

在此種情況下，所得誤差之值不巨；當偏流角小於 15° 時，其誤差值不超過高度之 $0,5\%$ ，僅在偏流角較大及彈道特性不良時 (Δ 之值過大時)，方能達高度之 $2-3\%$ 。

為便於計算彈着偏差角度起見，可將公式略改之：

1. 因 δ° 角與 γ 角之值不大，故可認二值之比，約等於該二值之正切之比，即：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\delta^\circ}{\gamma} &= \frac{\text{tg } \delta^\circ}{\text{tg } \gamma} \\ \text{tg } \delta^\circ &= \frac{\Delta \text{Sin } \omega}{H} \\ \text{tg } \gamma &= \frac{\Delta}{H} \end{aligned} \right\} \text{故 } \delta^\circ = \gamma \cdot \text{Sin } \omega$$

2. 因偏流角不超過 30° ，故可認定 $\text{Sin } \omega \approx \frac{\omega}{60}$ ，(此種假定之根據，可檢查正弦表以證明之。如在 1° 至 30° 範圍內，以 $(\text{Sin } X^\circ = \frac{X}{60})$ 公式計算各度之正弦，則其所得之各值，與表內所列者相較，其誤差不超過所需要之準確率。)

故
$$\delta^\circ = \frac{\gamma \cdot \omega}{60} \quad (37)$$

根據同理可得：
$$\delta = \Delta \text{Sin } \omega \approx \frac{\Delta \omega}{60} \quad (38)$$

在今後之敘述中，彈道原素之計算，將按此種近似公式

求之。

一般之計算程序：

1. 根據 θ , H 及 V , 在彈道表內尋出 T , Δ 及 γ 之值。
2. 在測風儀上可求出 ω , 磁航跡角, 及 W 之值 (如知磁向) 或 ω , 磁向及 W 之值 (如知磁航跡角)。計算之準確率: 偏流角, 磁向及航跡角, 在 1° 內; 地速 W —— 則在 2 公里/時內。

3. 用航空算尺可求得:

$$WT; A = W \cdot T - \Delta \text{ 及 } \varphi$$

4. 計算 $\delta = \frac{\Delta \cdot \omega}{60}$ 及 $\delta^\circ = \frac{\gamma \cdot \omega}{60}$

計算之準確率: δ —— 至 10 公尺; δ° —— 至 $0^\circ, 5$
(δ° 小於 $0^\circ, 25$ 時, 則認 $\delta^\circ = 0^\circ$)

例題一 設已知 $\theta = 21$ 秒; $H = 5800$ 公尺;

$$V = 28 \text{ 公里/時}; \text{ 磁向} = 142^\circ;$$

$$U = 4 \text{ (公里/時); } \delta = 85^\circ$$

試求 $T, \Delta, \gamma, \omega$, 磁航跡角, $W, W \times T, A, \varphi$
 δ , 及 δ° 之值。

答案:

1. $T = 27, 4$ 秒; $\Delta = 510$ 公尺; $\gamma = 5^\circ$;
2. $\omega = -7$; 磁航跡角 $= 135^\circ$; $W = 303$ 公里/時;
3. $W \cdot T = 3200$ 公尺; $A = 2690$ 公尺; $\varphi = 95^\circ$;
4. $\delta = -60$ 公尺; $\delta^\circ = -0^\circ, 5$

例題二 設 $\theta = 23$ 秒; $H = 3600$ 公尺; $V = 180$ 公里/時;

磁向 = 178° ; $U = 58$ 公里/小時 ; $\delta = 312^\circ$ 試求各值。

答案：

1. $T = 33$ 秒 ; $\Delta = 610$ 公尺 ; $\gamma = 9^\circ, 5$;
2. $\omega = +17^\circ$; 磁航跡角 = 195° ; $W = 146$ 公里/時 ;
3. $W \cdot T = 1340$ 公尺 ; $A = 720$ 公尺 ;
 $\varphi = 115^\circ, 5$;
4. $\lambda = 170$ 公尺 ; $\delta^\circ = 2^\circ, 5$

例題三 設 $\theta = 21$ 秒 ; $H = 2400$ 公尺 ; $V = 300$ 公里/時 ;
磁航跡角 = 250° ; $U = 24$ 公里/時 ; $\delta = 131^\circ$;
試求 T , Δ , γ, ω , 磁向, W , $W \times T$, A , φ , λ 及 δ° 各值 :

答案：

1. $T = 23, 3$ 秒 ; $\Delta = 230$ 公尺 ; $\gamma = 5^\circ, 5$;
2. $\omega = -4^\circ$; 磁向 = 254° ; $W = 283$ 公里/時 ;
3. $W \cdot T = 1860$ 公尺 ; $A = 1620$ 公尺 ; $\varphi = 31^\circ$;
4. $\lambda = -20$ 公尺 ; $\delta^\circ = 0^\circ, 5$;

例題四 設 $\theta = 21, 2$ 秒 ; $H = 7000$ 公尺 ;
 $V = 240$ 公里/時 ; 磁航跡角 = 99° ;
 $U = 64$ 公里/時 ; $\delta = 139^\circ$; 試求其他各值。

答案：

1. $T = 43, 9$ 秒 ; $\Delta = 700$ 公尺 ; $\gamma = 5^\circ, 5$;
2. $\omega = +10^\circ$; 磁向 = 89° ; $W = 280$ 公里/時 ;

$$3. W \cdot T = 3430 \text{公尺}; A = 2730 \text{公尺};$$

$$D = 21^{\circ}, 5;$$

$$4. \lambda = 120 \text{公尺}; \quad \partial^{\circ} = 1^{\circ}$$

由彈着偏差之公式

$$\lambda = \Delta \cdot \sin \omega \approx \frac{\Delta \cdot \omega}{60}$$

及彈着偏差角之公式 $\text{tg } \partial = \frac{\lambda}{H} = \text{tg } \gamma \cdot \sin \omega$

或

$$\partial^{\circ} \approx \frac{\gamma \cdot \omega}{60}$$

可知偏流角愈大，彈着偏差及彈着偏差角亦隨之而增大。當偏流角不變時，則彈着偏差值隨炸彈退曳程而增減，而彈着偏差角之值，則隨退曳角而增減。

根據上述理由，可製成 λ 及 ∂° 對 θ, H, V ，及 ω 之關係圖表 (γ, Δ 及 ω 與地速無關，故 λ 及 ∂° 亦與之無關)。

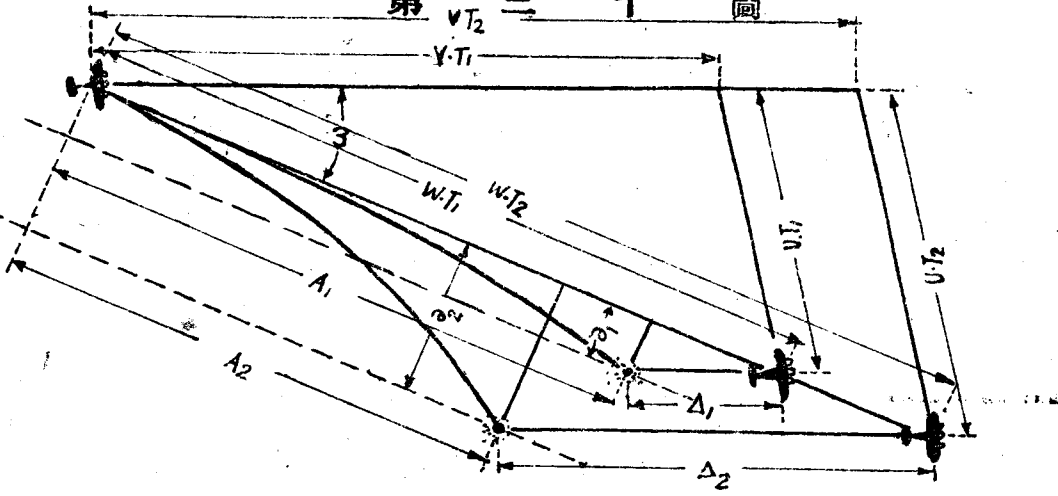
λ 及 ∂° 對 θ, H, V 及 ω 之關係表

增 變 化	θ	H	V	ω	標誌 之說明
λ	+	+	+	+	+增加
∂°	+	\oplus \ominus	+	+	\oplus 略增 \ominus 略減

等三十圖係說明兩個具有不同特徵時間 θ 之炸彈同時在

側風中投下，其彈道及爆炸點之分佈情形。

第三十圖



具有 θ 值較小之炸彈彈道各原素(即彈道特性較佳者)，皆標誌以數字“1”，至其具有較大之 θ 值者(即彈道特性較劣者)，則其彈道各原素，皆標誌以數字“2”。

練習問題

1. 何謂航跡及航跡平面？
2. 何謂風線與風向平面？
3. 何謂航向及航跡角？
4. 何謂風向，用何字母表示之？
5. 何謂偏流角及其正負值之規定如何？
6. 何謂風角及航向風向夾角？
7. 磁向，磁航跡角，偏流角，風向，航向風向夾角及風角諸值間之關係，以何公式聯繫之？
8. 在動空氣中，炸彈之彈道，係由何種運動組成？此種運動有何差別？

9. 在側風中投彈，炸彈之爆炸點位置如何？試用圖表示之？
10. 何謂彈着偏差，及應用何公式計算之。
11. 炸彈射程及投彈線之完整定義如何？
12. 根據何種公式計算正確射程值？
13. 普通計算射程時，應用何種公式，及在此種情況下，有何項假定？
14. 何謂爆炸線及投彈平面？
15. 何謂彈着偏差角，及應用何公式計算之。
16. 試列舉彈道諸原素及其正確之計算公式？
17. 計算彈道諸原素之一般程序如何？
18. 試述彈着偏差及彈着偏差角對 θ , V , H , ω 及 W 之關係，及其理由何在？
19. 試用圖表說明兩個具有不同特徵時間 θ 之炸彈，同時在側風中投下時，其彈道及爆炸點之分佈情形如何，並說明其理由，

第十一節 彈道諸原素對風速及風角之關係

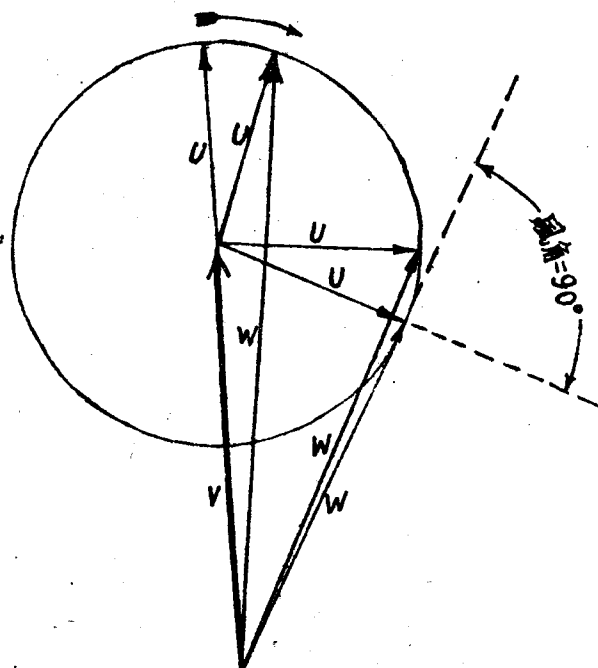
因風速 (U) 及風角之變化，地速 (W) 及偏流角 (ω) 亦發生變化，故凡與 W 或 ω 有依賴關係之諸原素 (即 A , φ , δ 及 δ°) 亦隨之而變化。

偏流角及地速，依風角而起之變化，可根據第三十一圖及第三十二圖研究之。

先作一空速動徑 V ，在該動徑末端，附着有風速動徑 U ，在完全順風飛行時，則其地速值為最大，蓋因；

$$W = V + U$$

第三十一圖



今以空速之末端為中心，而使風速動徑繞之旋轉，則風速動徑之末端，即繪出一圓，其半徑等於U。

地速動徑之末端，即將沿此圓周滑行，且風角變化自 0° 至 180° 時，地速之值逐減。

在風角 $=180^\circ$ （完全逆風飛行時）地速之值為最小，蓋因

$$W = V - U$$

當風角繼續增加，自 180° 至 360° 時，則地速之值又逐漸增大。

由圖可見，在風角接近 0° 及 180° 時，地速因該角之增加，而起之變化之值不大；但在風角接近 90° 及 270° 時，則地速因該角之變化而起之變化甚速。

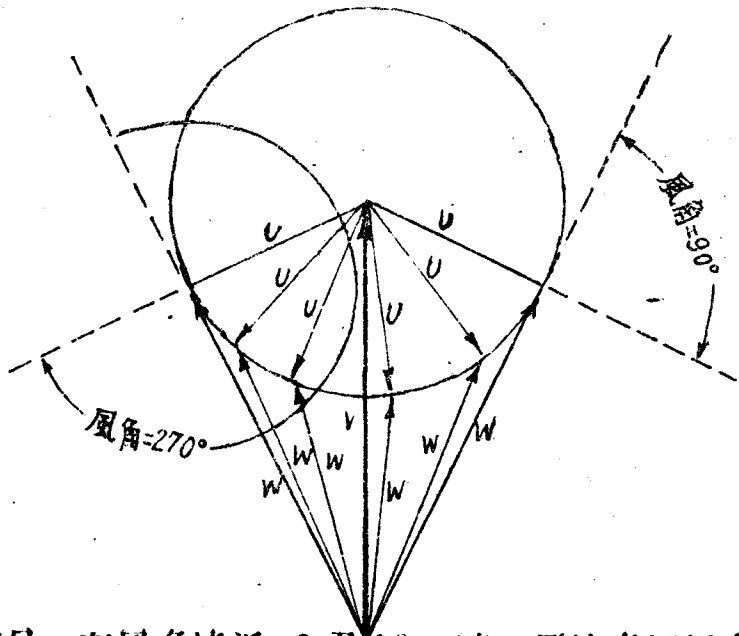
炸彈射程及投彈角，係與地速之值成正比，因此，在風角增加時，上述二值之變化，與地速之變化，具有同樣之性質。

在風角變化，自 0° 至 180° 時，偏流角之值為正，但在風角之變化自 180° 至 360° 時，則其值為負。

在風角變化，自 0° 至 90° 時，偏流角逐漸增加，且當風角 $= 90^\circ$ 時，偏流角之值最大。若風角繼續增加，則偏流角復行減少，且在風角 $= 180^\circ$ 時，偏流角等於零。

在風角增加自 180° 至 270° 時，偏流角之絕對值又逐增，在風角 $= 270^\circ$ 時其值最大；但當風角繼續增加時，則偏流角又行減少。

第 三 十 二 圖



由圖可見，在風角接近 0° 及 180° 時，偏流角因風角之增加而起之變化甚速；但在風角接近 90° 及 270° 時，因該

角之增加而引起偏流角之變化甚小。

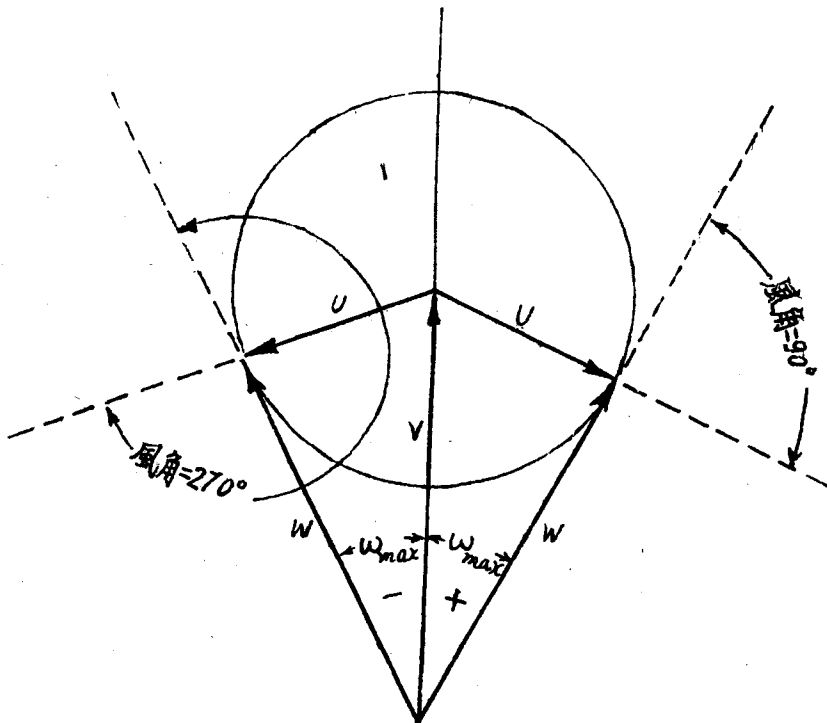
炸彈之彈着偏差及彈着偏差角係與偏流角有直接關係，因此在風角增加時，其所遭受之變化，亦與偏流角同。

由此可知，偏流角之絕對值，在風角等於 90° 及 270° 時為最大，即當地速之動徑，與以空速 V 為中心，以風速 U 為半徑所構成之圓週相切時。

偏流角之最大值以 ω_{\max} 表示之。

當風角 = 90° 及 270° 時，風速動徑 U ，係為與偏流角相對之直角三角形之底邊，而 V 則為直角三角形之斜邊，

第三十三圖



(如第三十三圖)，因此 ω_{\max} 之值，可按下列公式決定之

$$\sin \omega_{\max} = \frac{U}{V} \quad (39)$$

但因 ω_{\max} 不超過 30° ，故可採用下列之近似公式：

$$\omega_{\max} = 60 \cdot \frac{U}{V} \quad (40)$$

在此種情況下， δ 及 δ° 之絕對值，亦為最大。

$$\delta = \Delta \cdot \sin \omega_{\max} = \Delta \cdot \frac{U}{V} \quad (41)$$

$$\operatorname{tg} \delta^\circ = \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \omega_{\max} = \frac{U}{V} \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

或可採用其下列近似公式：

$$\delta^\circ = \gamma \times \frac{U}{V} \quad (42)$$

例題 試接近似公式求偏流角，彈着偏差及彈着偏差角之最大數值，設：飛機之空速 $V=240$ 公里/小時；風速 $U=60$ 公里/時； $\theta=21$ 秒及 $H=6000$ 公尺。

答案：

1. 根據彈道長：

$$\Delta = 440 \text{ 公尺}; \quad \gamma = 1^\circ;$$

2. 根據公式(40)

$$\omega_{\max} = 60 \frac{U}{V} = 60 \cdot \frac{60}{240} = 15^\circ$$

3. 根據公式(41)

$$\delta = \Delta \cdot \frac{U}{V} = 440 \cdot \frac{60}{240} = 110 \text{ 公尺}$$

4. 根據公式(12)

$$\gamma^\circ = \gamma \frac{U}{V} = 1^\circ \cdot \frac{60}{2.0} = 1^\circ$$

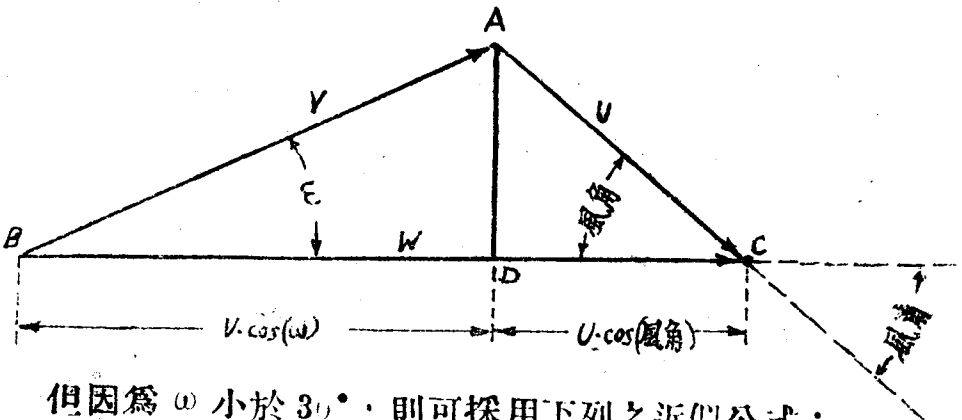
偏流角及地速對 V , U 及風角之關係, 其公式可按第三十四圖求得之。

斜形三角形 ABC , 係由 V , U 及 W 三動徑組成之。依三角之定理: 「三角形中二角之正弦之比, 等於與該二角相對立之邊之比」, 可得:

$$\frac{\sin \omega}{\sin \text{風角}} = \frac{U}{V}$$

由此
$$\sin \omega = \frac{U}{V} \sin \text{風角} \quad (43)$$

第三十四圖



但因為 ω 小於 30° , 則可採用下列之近似公式:

$$\omega = 60 \cdot \frac{U}{V} \sin \text{風角} \quad (44)$$

附註: 風角之變化, 係自 0° 至 30° 因此下列公式不能採用:

$$\sin \text{風角} = \frac{\text{風角}}{60}$$

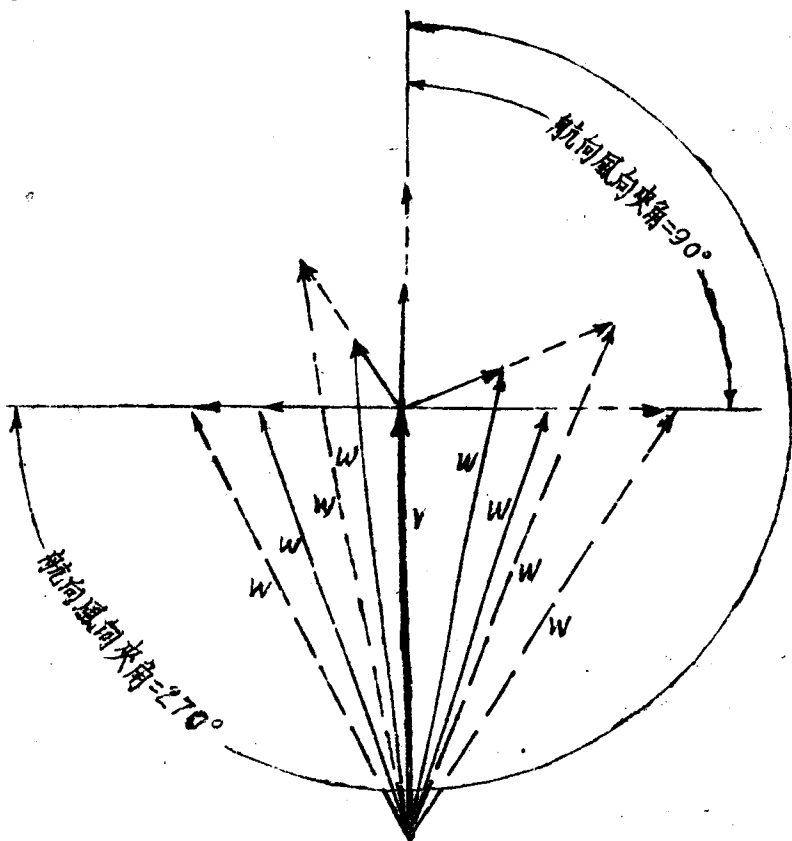
自動徑V之末端引一垂直線至動徑W上，設垂直線之底點D將BC直線截為兩段：BD段直線及DC段直線。BD段直線，係直角三角形ADB鄰近偏流角之切邊，故

$$BD = V \cdot \cos \omega$$

DC段直線為直角三角形ADC鄰近風角之切邊，故

$$DC = U \cdot \cos \text{風角}$$

第三十五圖



地速之動徑等於BD及DC二段直線之和，故

$$W = V \cdot \cos \omega + U \cdot \cos \text{風角} \quad (45)$$

根據(34)公式，炸彈射程

$$A = W \cdot T - \Delta \cdot \cos \omega$$

因此 $A = (V \cdot \cos \omega + U \cdot \cos \text{風角}) \cdot T - \Delta \cdot \cos \omega$

$$A = (V \cdot T - \Delta) \cdot \cos \omega + U \cdot T \cdot \cos \text{風角}$$

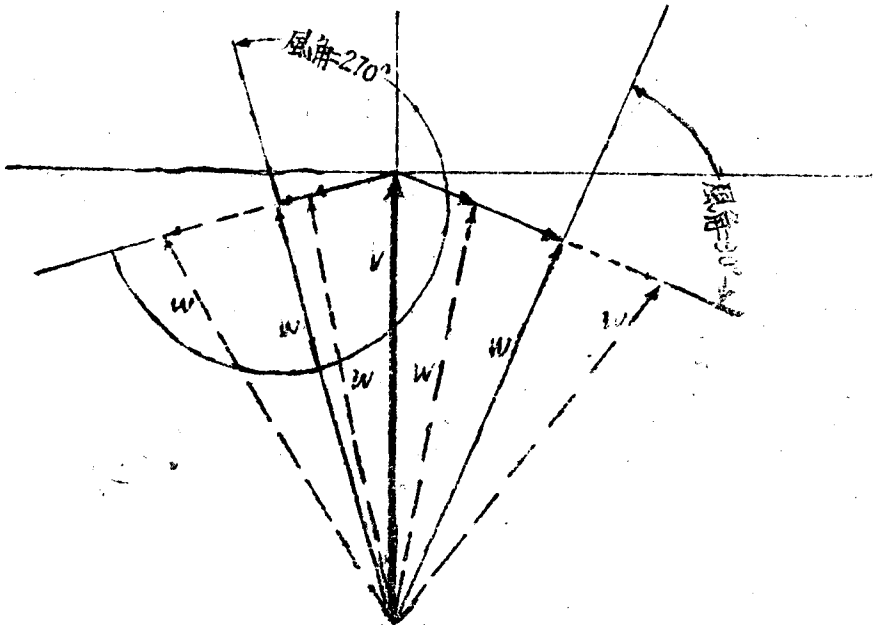
但因 $V \cdot T - \Delta = A_0$

故 $A = A_0 \cdot \cos \omega + U \cdot T \cdot \cos \text{風角}$

在風速增加時，偏流角，彈着偏差及彈着偏差角之絕對值亦增加，約與風速成正比例。

因風速變化而生之地速變化，如第三十五圖與第三十六圖所示。

第 三 十 六 圖



自該圖可見，當風角在 0° 至 90° 及 270° 至 360° 範圍

內時，風速之增加，將引起地速之增加，故炸彈射程及投彈角亦將隨之而增加。

當風角大於 90° ，但少於 270° 度時，風速之增加，將引起地速之減少，故炸彈射程與投彈角亦隨之而減少。

地速，偏流角及彈道諸原素，對風角及地速之關係，可以列表如第 111 頁上所示。

設風向及風速不變，而變化航向時（或設航向不變而變化風向時），則將引起風角之變化。因此，地速與偏流角及與其有關之彈道諸原素，即 A ， φ ， δ ， γ 等每亦均將隨之而變化。

當磁向增大時，風角 γ 減小，磁向減小時，風角則增大。反之，當風向 δ 增大時，風角亦增大， δ 減小時，風角亦減小。

當風角接近 0° 及 180° 時，飛機航向之變化，對於偏流角之變化，影響甚劇，但對於地速，炸彈射程與投彈角等之變化，則影響較小。當風角接近 90° 與 270° 時，則航向之變化，將引起地速之劇烈變化，炸彈射程及投彈角當亦隨之而變化，但偏流角在此種情況下，則變化甚微。

地速及偏流角對 V ， U 及航向風向夾角之關係，其公式可自第三十七圖求得之。

斜形三角形 ABC ，係由 V ， U 及 W 三動徑構成之。

依三角學之定理：「三角形一邊之平方，等於其他兩邊平方之和，減去二倍該二邊及其夾角之餘弦之積」可得：

$$W^2 = V^2 + U^2 - 2 \cdot V \cdot U \cdot \cos(180^\circ - \text{航向風向夾角})$$

因 $\cos(180^\circ - \text{航向風向夾角}) = -\cos \text{航向風向夾角}$

變化	當增加時	風 角				風 速 U	
		自 0° 至 90°	自 90° 至 180°	自 180° 至 270°	自 270° 至 360°	假定風角 在 0° 至 90° 或 270° 至 360° 之間	假定風角 在 90° 至 180° 或 180° 至 270° 之間
W		-	-	+	+	+	-
ω		+	-	+	-	+	+
A		-	-	+	+	+	-
φ		-	-	+	+	+	-
γ°		+	-	+	-	+	+
δ		+	-	+	-	+	+

+號表示增加

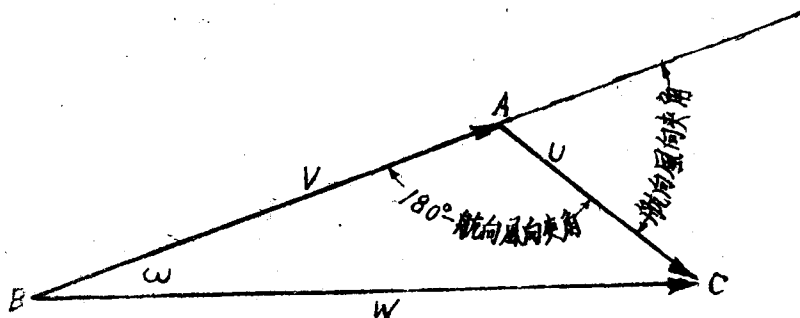
-號表示減少

附注：在 (ω 一項內，只研究偏流角變化之絕對值；至其正負值，當風角自 0° 至 180° 度時，偏流角之值為正，當風角自 180° 至 360° 時，偏流角之值為負。

則 $W^2 = V^2 + U^2 + 2 \cdot V \cdot U \cdot \cos$ 航向風向夾角

由此 $W = \sqrt{V^2 + U^2 + 2 \cdot V \cdot U \cdot \cos}$ 航向風向夾角

第 三 十 七 圖



根據正弦之定理：
$$\frac{\sin \omega}{U} = \frac{\sin(180^\circ - \text{航向風向夾角})}{W}$$

$$= \frac{\sin \text{航向風向夾角}}{W}$$

故
$$\sin \omega = \frac{U \cdot \sin \text{航向風向夾角}}{W}$$

$$= \frac{U \cdot \sin \text{航向風向夾角}}{\sqrt{V^2 + U^2 + 2 \cdot V \cdot U \cdot \cos \text{航向風向夾角}}}$$

練 習 問 題

1. 何種彈道原素與風角及風速有關，其故安在？
2. 當風角增大時，偏流角之變化如何？
3. 在何種風角下，偏流角，彈着偏差及彈着偏差角具有最大直，應根據何種公式計算之。
4. 在風角增大時，地速，炸彈射程，及投彈角之變化如何？
5. 偏流角及地速對 U, V 與風角之關係，以何種公式表示之？
6. 在風速增加時，偏流角，彈着偏差及彈着偏差角之

變化如何？

7. 在風速增加時，墜速之變化如何？
8. 飛機航向之變化，對於炸彈彈道諸原素之影響如何
及在此種情況下，風角之作用如何？

第五章 投彈角之動徑圖解

第十二節 炸彈運動之平均速度

設炸彈自某高度下墜之平均垂直速度，以 V_H 表示之，在炸彈下墜時間內，炸彈對飛機之退曳平均速度，以 V_Δ 表示之，在炸彈下墜時間內，在靜氣中，炸彈水平射程之平均速度，以 V_A 表示之，及在動氣中，炸彈水平射程之平均速度，以 W_A 表示之。

如已知投彈高度 H ，炸彈自該高度下墜之時間 T ，飛機之空速 V 及炸彈退曳程 Δ ，即可計劃 V_H ， V_Δ 及 V_A 之值：

$$V_H = \frac{H}{T} \quad (46)$$

$$V_\Delta = \frac{\Delta}{T} \quad (47)$$

$$V_A = \frac{A_0}{T} = \frac{VT - \Delta}{T} = V - \frac{\Delta}{T}$$

但

$$\frac{\Delta}{T} = V_\Delta$$

因此

$$V_A = \frac{A_0}{T} = V - V_\Delta \quad (48)$$

即：在靜氣中炸彈射程之平均速度，等於飛機空速與退曳平均速度之差。

$$W_A = \frac{A}{T} = \frac{WT - \Delta \cos \omega}{T} = W - \frac{\Delta}{T} \cos \omega$$

因此
$$W_A = \frac{A}{T} = W - V_{\Delta} \cos \omega \quad (49)$$

或為下列近似公式：

$$W_A = \frac{A}{T} \approx W - V_{\Delta} \quad (50)$$

即：在動氣中，炸彈射程之平均速度，約等於飛機地速與退曳之平均速度之差。

試求 $\text{tg } \gamma$ 及 $\text{tg } \varphi$ 之值：

前已述及
$$\text{tg } \gamma = \frac{\Delta}{H}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{A}{H}$$

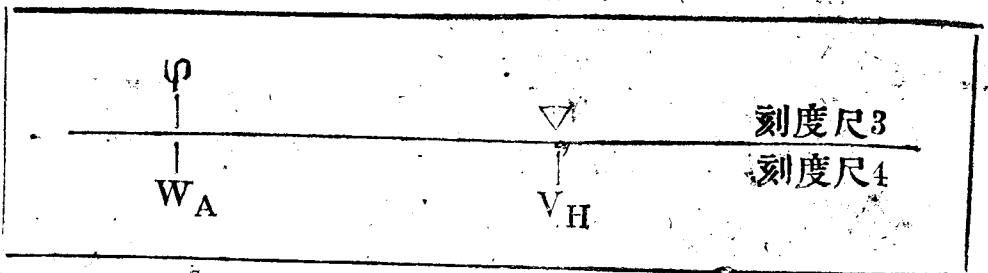
但因 $\Delta = V_{\Delta} T$ ； $H = V_H T$ ； $A = W_A T$ ；

故
$$\text{tg } \gamma = \frac{V_{\Delta} \cdot T}{V_H \cdot T} = \frac{V_{\Delta}}{V_H}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{W_A \cdot T}{V_H \cdot T} = \frac{W_A}{V_H}$$

第三十八圖

應用航空算尺根據 W_A 及 V_H 求 φ 之使用法



如此，則如彈道諸原素，按平均速度計算時，則可得下列各公式：

$$\Delta = V_{\Delta} \cdot T; \quad (51)$$

$$A = W_A \cdot T; \quad (52)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{V_{\Delta}}{V_H}; \quad (53)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{W_A}{V_H} = \frac{W - V_{\Delta} \cos \omega}{V_H} \approx \frac{W - V_{\Delta}}{V_H} \quad (54)$$

凡 $\pi-7$ 式與 $\pi-25$ 式炸彈之 V_H 、 V_{Δ} 、 V_A 之數值，均以公里/時計算，皆詳見第七及第八附錄圖表中。

如計算投彈角，應用最後一公式及航空算尺時，則所費之時間甚少。（見第三十八圖）

例題一 試求 $\pi-7$ 式炸彈之投彈角，設其投彈高度 $H=2.00$ 公尺；飛機之空速 $V=160$ 公里/時；地速 $W=120$ 公里/時。

答案：

1. 根據附錄八之圖表可得：

$$V_H = 340 \text{ 公里/時}$$

$$V_{\Delta} = 48.5 \text{ 公里/時} \approx 48 \text{ 公里/時}$$

附註：在實際應用上， V_{Δ} 之值，常取整數。

2. 射程平均速度

$$W_A = W - V_{\Delta} = 120 - 48 = 72 \text{ 公里/時}$$

3. 利用航空算尺，可計算投彈角之值。爲此，將第三刻度尺上之三角形 (∇) 指針，對準第四刻度尺上之 V_H 度，($V_H=340$ 公里/時，按尺上之度數爲 340 度)。然後在第四刻度尺之 W_A 度之對方 ($W_A=72$ 公里/時，尺上

之度數為 72 度)，在第三刻度尺上讀取投彈角 φ 之值 ($\varphi = 12^\circ$)。

由此，可以顯見，此種計算方法與普通之計算方法相較，省去 W 乘 T 之手續，且在計算時，所有一切數字，其絕對數值，均見減小。

例題二 試求 $\pi-7$ 式炸彈之投彈角；設其投彈高度

$$H = 1200 \text{ 公尺； } V = 140 \text{ 公里/時；及}$$

$$W = 180 \text{ 公里/時；}$$

答案：

$$1. \quad V_H = 252 \text{ 公里/時； } V_\Delta = 28 \text{ 公里/時；}$$

$$2. \quad W_A = W - V_\Delta = 180 - 28 = 152 \text{ 公里/時；}$$

$$3. \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{W_A}{V_H} = \frac{152}{252} ;$$

其投彈角 $\varphi = 31^\circ$

例題三 試求 $\pi-25$ 式炸彈之投彈角，設其投彈高度

$$H = 4000 \text{ 公尺； } V = 180 \text{ 公里/時；}$$

$$W = 200 \text{ 公里/時；}$$

答案：

$$1. \quad V_H = 460 \text{ 公里/時； } V_\Delta = 32 \text{ 公里/時；}$$

$$2. \quad W_A = W - V_\Delta = 200 - 32 = 168 \text{ 公里時；}$$

$$3. \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{W_A}{V_H} = \frac{168}{460} ;$$

其投彈角 $\varphi = 20^\circ$

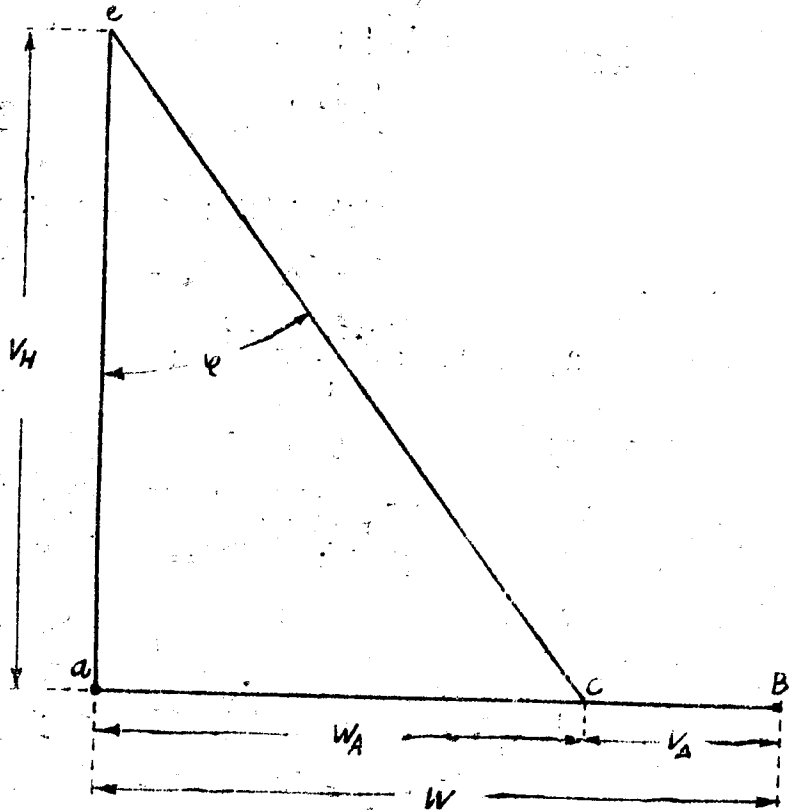
設已知 W ， V_Δ 及 V_H 諸值時，則投彈角之圖解如下：

(參閱第三十九圖)

設 ab 線等於地速 W (按選定之比列尺)，自 ab 線內截取 bc 一段，使之等於退曳平均速度 V_{Δ} ，如此，則 ac 綫正等於射程之平均速度 W_A 。

附註：如欲獲得更精確之 W_A 值時，則應使 bc 綫恰等於 $V_{\Delta} \cdot \cos \omega$ 之值。

第三十九圖



在 a 點上作一垂直綫 ae ，使其長等於炸彈下墜平均速度 V_H 之值，將 e 點及 c 點聯一直綫，則 ae 垂直綫與 ec 直綫間之角度，即為投彈角 φ ，蓋因：

$$\operatorname{tg} \angle aec = \frac{ae}{ac} = \frac{W_A}{V_H} = \operatorname{tg} \varphi$$

練習問題

1. 炸彈下墜之平均速度，退曳平均速度，及水平射程之平均速度，用何符號表示之，及用何公式計算之？
2. 設已知炸彈運動之平均速度時，用何公式計算彈道之諸原素？
3. 應用航空算尺及按照炸彈運動之平均速度計算投彈角之程序如何？
4. 按照炸彈運動之平均速度，投彈角之圖解如何？

第十三節 聯合測風儀

聯合測風儀，除應用於普通航行計算外，且於按平均速度計算投彈角時應用之。

因此，在普通測風儀之背面，備有圓盤 a 及可旋轉之圓圈 b (見第四十圖)。

在圓盤上，具有三個刻度尺，係表示投彈之高度，以公里計算之。該三刻度尺係為計算三種不同之炸彈而設：

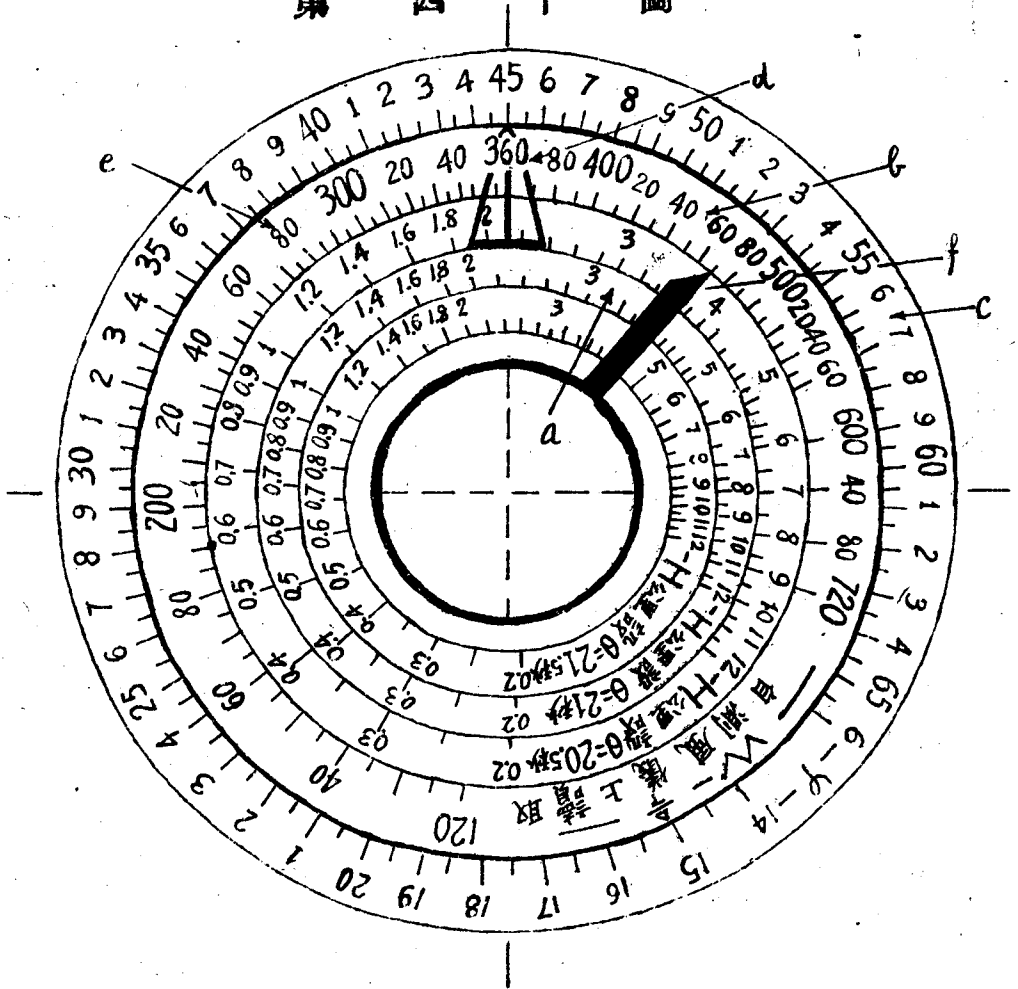
$$\theta = 20,5 \text{ 秒}; \quad \theta = 21 \text{ 秒} \quad \text{及} \quad \theta = 21,5 \text{ 秒}。$$

在圓盤上，備有不動之指針一 (d)，其樣式為帶有細紋之透明薄板。在旋轉圓圈上備有二個刻度尺：表示投彈角之刻度尺 (c) 及表示射程平均速度 W_A 公里/時之刻度尺 (e)。

計算投彈角之方法如下：

1. 將活動指針 (f) 對準在內圓盤上某投彈高度之刻度 (與炸彈之特徵時間 θ 相符合者)。

第四十圖



2. 然後將外圓圈旋轉，至射程平均速度之值（按刻度尺 e 讀取）與活動指針（f）相符合時為止。

3. 在投彈角之刻度尺上，與不動指針（d）之細紋相對之刻度，即為投彈角 φ 之數值。

在上述之圓盤及圓圈上之刻度，皆係對數值。根據(53)公式：

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{W_A}{V_H};$$

故 $\log \operatorname{tg} \varphi = \log W_A - \log V_H$

在投彈角之刻度尺上(刻度尺 c)，其刻度係按投彈角正切之對數製成者，但註以投彈角之數值 φ 。

在射程平均速度之刻度尺上(刻度尺 e)，其刻度係按射程平均速度之對數製成者，但註以 W_A 之數值。

在圓盤之各刻度尺上，其刻度係按炸彈下墜平均速度之對數製成者，係為三種不同式之炸彈而設，其特徵時間 $\theta = 20,5$ 秒； 21 秒 及 21,5 秒)，但註以投彈高度之數值。

不動指針(d)係固定於當 $V_H = 360$ 公里/時之投彈高度數值刻度上，即以 360 公里/時之速度為單位。因 $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ ，故在投彈角刻度尺上之 45° ，正與 $W_A = 360$ 公里/時之刻度相對。

在應用聯合測風儀計算投彈角時，實際係進行下列公式之計算，即：

$$\log W_A - \log V_H = \log \operatorname{tg} \varphi$$

但因上述各刻度尺之特質，故其所求得之值即直接為投彈角 φ 。

應用測風儀計算 W_A 值時，其方法有二：

第一種方法，即係按照普通程序，先根據風點及磁向或磁航跡角計算地速 W ，然後自地速 W 減去炸彈退曳平均速度 V_Δ ，即得 W_A 。

例題 試用聯合測風儀求投彈角 φ ，設其特徵時間 $\theta = 21$ 秒； 投彈高度 $H = 4600$ 公尺； 空速 $V = 200$

公里/時；磁向等於 190° ；風速 $U=40$ 公里/時；
風向 $\delta=60^\circ$ ；退曳平均速度 $V_{\Delta}=30$ 公里/時。

答案：

1. 將測風儀之圓心，置於空速 $V=200$ 公里/時之動徑末端，然後將圓盤旋轉，使 190° 之刻度，對準測風儀之中線（因磁向等於 190° ），再根據風向及風速求得風點，因而求得地速 W 。

$$W=177\text{公里/時(偏流角 } \omega=-10^\circ)$$

2. 求 W_A

$$W_A=W-V_{\Delta}=177-30=147\text{公里/時}$$

3. 將活動指針（f），按照 $\theta=21$ 秒之刻度尺，對準投彈高度 $H=4,6$ 公里之刻度。
4. 將外圓圈轉動，使 $W_A=147$ 公里/時之刻度，與活動指針相符合，則在不動指針上細紋之對方，可讀取投彈角 $\varphi=16^\circ,5$

第二種方法，即將測風儀之圓心，置於炸彈在靜氣中之水平射程平均速度 $V_A=V-V_{\Delta}$ 之動徑末端，然後計算進行程序與前同，即將測風儀之圓盤，置於磁向度上，長尺則對準風點，在長尺上自風點所讀取之值，則為炸彈射程平均速度 W_A ，至所讀取之偏流角用 ω_b 表示之。 ω_b 數值之分析，將於稍後詳述之。

例題 在前例同樣條件下，試用聯合測風儀第二種方法求投彈角 φ 。

答案：

$$V_A = V - V_{\Delta} = 200 - 30 = 170 \text{ 公里/時；}$$

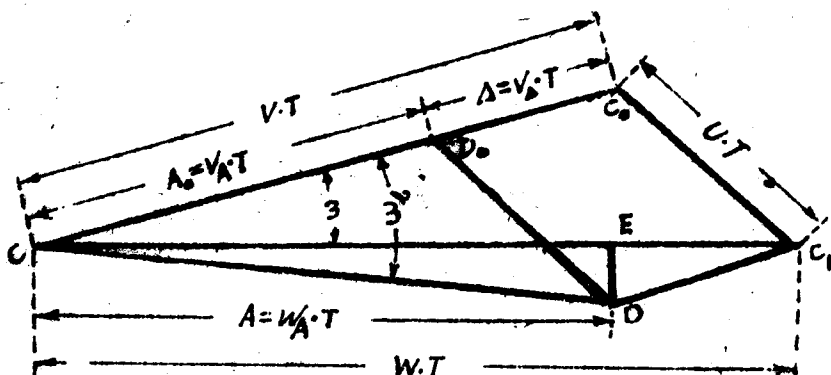
$$W_A = 147 \text{ 公里/時 } (\omega_b = -12^{\circ})；$$

$$\varphi = 16^{\circ}, 5$$

此種計算方法之分析，詳見第 41 圖及第 49 圖。

在投彈時，飛機在 c 點上(如第 41 圖)。

第 四 十 圖



CC。為飛機在炸彈下墜時間內，在靜氣中之航跡 $V \times T$ ；

CD。為炸彈在靜氣中之射程 $A_0 = V_A T$ ；

C.C1 為飛機受風之影響而得之偏流程，而 D.D則為炸彈受風影響而得之偏流程 $C.C_1 = D.D = U \times T$ ；

CC1 為飛機在炸彈下墜時間內有風時之航跡；

CE 為有風時炸彈之射程 $A = W_A \cdot T$ ；

CD 為投彈點在爆炸地平面上之投影與爆炸點之聯接直線，稱之為「彈道之地平投影」(譯者註：所以加以引用符號者，因其意義與彈道之投影相似，惟彈道之投影為一曲線耳)。

ω_b 角係位於「彈道地平投影」及航向之間，「故可名之

為炸彈之偏流角，而以 ω_b 表示之。

「彈道地平投影」之準確長度，可自直角三角形CED內求得之，在此三角形中，射程 $CE = A = WT - \Delta \cos \omega$ ，係直角三角形之一切邊，而彈着偏差 $ED = \gamma = \Delta \sin \omega$ 則為該直角三角形之第二切邊，至「彈道地平投影」，則為其斜邊。

根據幾何學內之定理，可得：

$$CD = \sqrt{A^2 + \gamma^2}$$

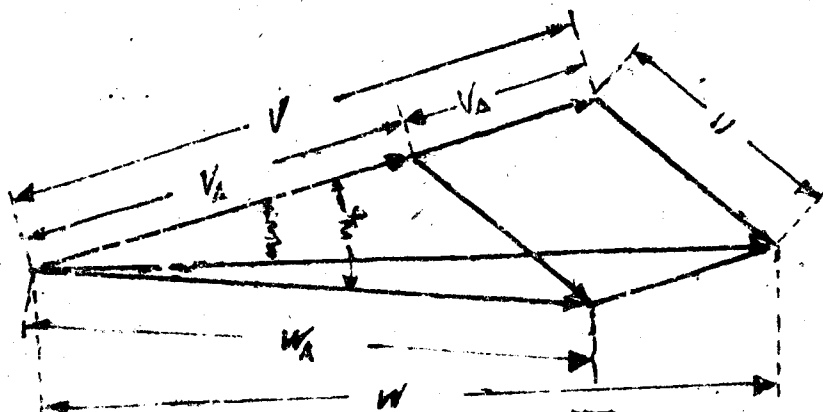
因彈着偏差與射程相較，其值甚微，故可認「彈道地平投影」，約等於射程，即 $CD \approx CE = A = WT$ ，由此可得：

$$W_A \approx \frac{\text{「彈道地平投影」}}{T}$$

當用第二種方法計算時，此 W_A 之概值，即自測風儀上求得之(如第四十二圖)。

既 V_A 之值，常比 V 值為小，則 ω_b 之值，常大於飛機之偏流角 ω 之值，其理明矣。

第四十二圖



練習問題

1. 聯合測風儀之應用爲何，及其較普通測風儀所增加之構造如何？
2. 在聯合測風儀之圓盤上，有何種刻度尺？
3. 在聯合測風儀之旋轉圓圈上，有何種刻度尺？
4. 設已知 H ， θ 及 W_A 諸值，如何用聯合測風儀計算投彈角？
5. 如何應用測風儀計算炸彈射程之平均速度？
6. 何謂炸彈之偏流角 ω_b ？
7. 應用測風儀第二種方法計算 W_A 之原理如何？

第一冊之結論

水平飛行投彈之彈道學

第一章 在真空中投彈之彈道

第一節 自固定點投彈

在真空中，自固定點投彈之彈道，爲一垂直線。炸彈循此彈道之運動，僅以地心吸力不變之加速度(g)爲基礎，故其運動爲等加速運動。因此：

炸彈之終速

$$V_F = g \times T_0 ; \quad (1)$$

炸彈下墜之平均速度

$$V_{AV} = \frac{gT_0}{2} \quad (2)$$

投彈高度等於炸彈之行程

$$H = \frac{gT_0^2}{2} \quad (3)$$

炸彈之下墜時間

$$T_0 = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (4)$$

附錄一之圖表，即按最後公式計算者。

第二節 自飛機上投彈

在真空中自飛機上投下炸彈之彈道，僅與下列二因素有關：

- 一 飛機之空速 V ；
- 二 地心吸力之加速度 $g=9,81$ 公尺/秒²

此種彈道，係炸彈兩種運動相加之結果。即：

- 一 因地心吸力而生之按垂直線下降之等加速運動；
- 二 按水平速度 V 前進之等速運動。

此種彈道之曲線，係為一拋物線，其公式為：

$$x = vt; \quad y = \frac{gt^2}{2} \quad (5)$$

在此種情況下，炸彈之射程，等於飛機在炸彈下墜時間內之飛行距離。

$$A = V \cdot T. \quad (6)$$

投彈角常按下列公式計算之：

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{A}{H} \quad (7)$$

第二章 空氣阻力

第三節 空氣之抵抗力量(阻力)

空氣阻滯炸彈之下墜運動。

因空氣阻力關係，在空氣內自飛機上投下之炸彈彈道，較在真空中投下者之彈道，更形峻峭。

為使炸彈降落正確，必須：

- 一 炸彈之形式，與其縱軸心相對稱；
- 二 炸彈之重心點，須在其縱軸心上；
- 三 炸彈須具有安定性(即炸彈須具有安定裝置)。

當具備上述諸條件後，空氣阻力之趨向，與彈道相切

(炸彈之心軸，亦與之相符合)，且其數值最小。

在炸彈正確下降時，空氣阻力，可利用下列公式表示之

$$R = C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V_b^2 \quad (8)$$

R ——為空氣阻力，以公斤計算之；

C_x ——為炸彈之前面阻力係數，依據航空風洞之實驗求得之；

ρ ——為空氣之密度，以 公斤 \times 秒²/公尺⁴ 計算之，即一立方公尺空氣之質量；

$$\rho = \frac{n}{g};$$

n ——為空氣之比重，以 公斤/公尺³ 計算之，即一立方公尺空氣之重量。

在彈道學上規定之正常條件下（即地面氣壓為 750_{mm}，溫度為 +15°C，相對濕度為 50%）：

$$n_0 = 1,206 \text{ 公斤/公尺}^3; \rho_0 = 0,123 \text{ 尺斤, 秒}^2/\text{公尺}^4$$

高度愈增，空氣之比重愈減，在附錄二之 $\frac{n}{n_0}$ 數值表內

載有各種不同高度中空氣比重對地面空氣比重之比例。

S ——為炸彈中央斷橫面之面積，即其最大橫斷面之面積，以平方公尺計算之。

V_b ——炸彈對空氣之速度。

在速度 V_b 大於 220 公尺/秒 時，第(8)公式則不適用，蓋因彼時空氣阻力之增加，較炸彈速度之平方加增為速。

如 $\rho \times C_x$ 用字母 K 代表之，則得簡式如下：

$$R = K \cdot S \cdot V_b^2 \quad (9)$$

第四節 空氣阻力對炸彈速度之影響

設與真空中之炸彈下墜相較，則空氣阻力能減少炸彈運動之速度。

空氣阻力之加速度用下列公式表示之：

$$a = \frac{R}{m} = \frac{K \cdot S}{m} \cdot V_b^2 \quad (10)$$

空氣阻力之水平組成分力

$$R_x = K \cdot S \cdot V_x \cdot V_b \quad (11)$$

能引起空氣阻力加速度之水平組成加速度

$$a_x = \frac{K \cdot S}{m} \cdot V_x \cdot V_b \quad (13)$$

且與飛機之空速 V 相較，則能減少炸彈之水平組成速度 V_x 。

因此，炸彈按水平之運動，為不均衡之減速度運動。

空氣阻力之垂直組成分力

$$R_y = K \cdot S \cdot V_y \cdot V_b \quad (12)$$

能引起空氣阻力加速度之垂直組成加速度

$$a_y = \frac{K \cdot S}{m} \cdot V_y \cdot V_b \quad (14)$$

如自地心吸力加速度 g 減去此種空氣阻力加速度之垂直組成加速度，則其所得之值，即為在空氣中較在真空中炸彈垂直下墜速度減少之因素。

由此可得，炸彈之實際垂直加速度

$$j = g - a_y \quad (15)$$

j 之值係為一可變值，其變化之範圍，自 $j=g$ （在投彈時）逐漸減少至 $j=0$ （當 R_y 等於炸彈之重量 Q 時），然後因炸彈繼續下降，空氣密度增加，而變為負值。

因此，炸彈按垂直線下墜之運動，係首先為不等之加速運動，然後（當 R_y 等於 Q 時），則為不等之減速運動。

當 $R_y=Q$ 時，炸彈速度之垂直組成速度，稱為炸彈之極限速度（或稱為終速），用 V_{\max} 表示之。

$$Q = C_x \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V_{\max}^2 \quad (16)$$

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{Q}{C_x \cdot \rho_0 \cdot S}} = \sqrt{\frac{P}{C_x \cdot \rho_0}} = 2.85 \sqrt{\frac{P}{C_x}} \quad (17)$$

此處之 $P = \frac{Q}{S}$ 為炸彈之橫斷面負荷率。

附註：以上所引用之各公式（除第15公式外），僅在炸彈速度小於 220公尺/秒時，方為正確。

第五節 炸彈之彈道特性

在同一空氣密度下，速度相同之各式炸彈，其彈道特性如何，視各該炸彈所受空氣阻力之加速度大小而定。（加速度 a 愈小，炸彈之彈道愈佳）。

彈道之特性●係依據炸彈前面阻力係數 C_x 對炸彈橫斷面負荷率 P 之比例如何而定，此可由下列公式見之：

$$a = \frac{C_x \cdot \eta \cdot V_0^2}{P} \quad (18)$$

設二炸彈之形式相似，且裝備同種之彈藥時，則其橫斷面負荷率與該炸彈等之長度成正比，故炸彈愈大，其彈道之特性愈佳，此為一般之定則。

自某高度炸彈落下之時間 T ，常比在真空中落下之時間 T_0 爲多。

T 與 T_0 之差愈少，炸彈之彈道亦愈佳。

在空速 $V=40$ 公尺/秒 及投彈高度 $H=2000$ 公尺 時炸彈所需之下墜時間，稱爲炸彈之特徵時間，並用字母 θ 表示之。

彈道之係數 C ，或特徵時間 θ ，均可用作炸彈彈道特性之測驗標準。

C 之數值，可由下列公式決定之：

$$C = 8064 \cdot n_0 \cdot \frac{C_x}{P} = 9725 \frac{C_x}{P} \quad (19)$$

設 θ 之值不超過 22 秒時，則 C 與 θ 間之關係，可由下列近似公式決定之：

$$\theta \approx 20,19 + 0,81 \cdot C \quad (20)$$

或

$$C \approx \frac{\theta - 20,19}{0,81} \quad (21)$$

具有同一彈道特性之炸彈，在同一條件下，其彈道亦相同，且其 $\frac{C_x}{P}$ 之比例，道彈之係數 C ，特徵時間 θ 及極限速度 V_{max} ，亦均爲一致。

第三章 在靜空氣中炸彈之彈道 (計算空氣之阻力)

第六節 在靜空氣中炸彈彈道之原素

在靜空氣中投下炸彈之彈道，係由下列三因素形成之：

- 一 飛機之空速 V ；
- 二 地心吸力之加速度 g ；
- 三 空氣阻力之加速度 n 。

設與真空投彈相較，則因空氣阻力關係，炸彈之射程減少，其下墜時間則增大（故飛機在炸彈下墜時間內之行程亦增加）。因此之故，造成炸彈之退曳程（較飛機滯後），以致炸彈之爆炸不在飛機之垂直線下，而在其後方，在退曳角 γ 之下。

在炸彈下墜時間內，在靜空氣中飛機之行程，與炸彈之射程之差，謂之炸彈之退曳程 Δ 。

$$\Delta = VT - A. \quad (23)$$

炸彈之射程，在靜空氣中用 A_0 表示之；在靜空氣中之投彈角用 φ_0 表示之。

A_0 ， φ_0 ， Δ 及 γ 之數值，為靜氣中彈道之原素。

T 及 Δ 數值之計算，甚為複雜，故對於彼等，特備有專門之彈道表立可查出（見附錄第四五六各圖表）。

其餘彈道各原素，可按下列公式計算之：

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta}{H} \quad (24)$$

$$A_0 = V \cdot T - \Delta \quad (25)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A_0}{H} \quad (26)$$

θ ， V 及 H 諸值，為彈道表內之已知數。

彈道表之製成，係根據地面氣壓（在爆炸地平面上）等於 570mm（水銀柱之高度）時計算者。

當爆炸地平面距海面過高時則氣壓較低，如彈道各原素之計算，仍根據彈道圖表，則將發生差誤。蓋此時炸彈之下墜，係在較稀之空氣密度中，其結果，退曳程 Δ ，下墜時間 T 及退曳角 γ 俱將減小，而射程 A_0 及投彈角 ρ_0 與彈道表上之數值相較時，則俱將增大。

第七節 炸彈對飛機之彈道

轟炸員自飛機上所見炸彈之下墜，係按照對飛機之彈道進行。炸彈對飛機之彈道，稱為退曳曲線，而該曲線與爆炸地平面相交之點，則稱為退曳點。

炸彈按退曳曲線之運動，係由於下墜時，加於炸彈上兩種力量影響之結果，該兩種力量，均處於飛機之中央對稱平面中：

- 一 地心吸力，其數值與方向均為不變；
- 二 空氣阻力 R ，其數值與方向均為可變者。

在投彈一瞬時，空氣阻力 R_0 之方向為水平，炸彈在對飛機之退曳初角 γ_0 下開始運動。

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{R_0}{Q} = \frac{C_X}{P} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (27)$$

當 V_{\max} 小於220公尺/秒時，

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{n}{n_0} \cdot \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^2 \quad (28)$$

當炸彈繼續下降時，退曳角逐漸增加，達到最大數值後，則又開始減少，

第四章 在動空氣中炸彈之彈道

第八節 在風向平面中投彈之彈道原素及航空算尺之應用
在動空氣中，炸彈之彈道，具有下列四種因素：

- 一 飛機之空速 V ；
- 二 風速 U ；
- 三 地心吸力之加速度 g ；
- 四 空氣阻力之加速度 a 。

因飛機對空氣全體積之運動(其速度 V)，及空氣全體積本身之移動運動(其速度 U)之結果，飛機對地面之運動，其地速為 W 。

炸彈之彈道(對地面)，係炸彈按空中彈道運動，及空氣全體積本身移動運動相加之結果。

飛機及炸彈，在炸彈下墜時間內，隨空氣全體積而移動同一數值 UT 。

空氣阻力之加速度 a ，與炸彈之對空速度 V_1 有關。因此，亦與飛機之空速 V 有關，與風速 U 及飛機之地速 W 無關。

因在空氣中，自某高度投彈之下墜時間，較在真空中之下墜時間為多，及發生炸彈退曳程諸現象，均係空氣阻力加速度影響之結果，故 T ， Δ 及 γ 諸值，僅與 a ， H 及 V 有關，而與風及飛機之地速 W 無關。

在風向平面中投彈之炸彈射程，可按下列公式計算之：

$$A = W \cdot T - \Delta \quad (29)$$

投彈角按第(7)公式計算之：

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{H}$$

在炸彈下墜時間內，飛機之行程 $W \cdot T$ ，投彈角 φ 及退曳角 γ ，均可利用航空算尺求得之。其使用方法，可參看第十八圖及第十九圖。

在計算彈道諸原素時， Δ ， WT 及 A 諸值，均略與以增減，使之為十公尺之整數；而 γ 及 φ 則增減至半度計算之。

第九節 T, Δ, γ, A 及 φ 諸值對 θ, H, V 及 W 諸值之關係在無偏流時，決定彈道諸原素所根據各值為：

- 一 炸彈之特徵時間 θ ；
- 二 投彈高度 H ；
- 三 飛機之空速 V ；
- 四 飛機之地速 W 。

θ 之增加，係表示炸彈彈道特性變劣，在此情況下，炸彈之下墜時間，退曳程，退曳角，均將增大；而射程與投彈則減小。

因投彈高度增加，炸彈之下墜時間亦增加，退曳角變化不大（開始時，逐漸增大，然後在某段高度中，其值不變；最後又逐漸減小），射程與退曳程亦增加，而投彈角則減小。

在空速增加時，飛機之地速，及一切彈道原素（ Δ ， γ ， A 及 φ ）均增加，但下墜時間，則增加不大。

因風之關係，而使飛機之地速增加時，炸彈之下墜時間，退曳程及退曳角均無變化，射程及投彈角則增大。

第十節 側風投彈之彈道諸原素

大多數之投彈，係在側風中進行。因此，航跡平面與航向平面之間，形成一偏流角。

航跡航向及偏流角，其彼此間之關係，如下列公式：

$$\text{航跡} = \text{航向} + \text{偏流角} \quad (30)$$

航向平面及風向平面間之角度，稱為航向風向夾角

$$\text{航向風向夾角} = \text{風向} - \text{磁航向} \quad (31)$$

航跡平面與風向平面間之角度稱為風角。

$$\text{風角} = \text{風向} - \text{磁航跡角} \quad (32)$$

$$\text{或} \quad \text{風角} = \text{航向風向夾角} - \text{偏流角} \quad (33)$$

在側風中投彈，亦如在風向平面及在靜氣中同，炸彈之爆炸發生於飛機之中央對稱垂直平面上，而在飛機之後方退曳角下。

在此種情況下，炸彈之爆炸點，位於航跡平面之風吹之下方，且距該平面之距離等於彈着偏差 Δ 。

$$\Delta = \Delta \cdot \sin \omega \quad (35)$$

其近似公式

$$= \Delta \cdot \frac{\omega}{60} \quad (38)$$

自爆炸水平面上投彈點之投影，至航跡平面上炸彈爆炸點之投影之距離，謂之炸彈射程 A 。

$$A = W \cdot T - \Delta \cdot \cos \omega \quad (34)$$

因 $\cos \omega$ 之值近於 1，故普通計算射程之近似值多用 (29) 公式

$$A = W \cdot T - \Delta$$

自投彈點與在航跡平面上炸彈爆炸點之投影之聯接線，謂之投彈線；投彈線與垂直線間之角度謂之投彈角 φ ，按第七公式

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{H}$$

自爆炸點引伸與航跡平行之直線謂之爆炸線。

自投彈點與爆炸線所經過之平面，謂之投彈平面。

航跡平面與投彈平面間之角度，謂之彈着偏差角，用 δ° 表示之。

$$\operatorname{tg} \delta^\circ = \frac{\vartheta}{H} = \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \omega \quad (26)$$

其近似公式

$$\delta^\circ = \frac{\gamma \cdot \omega}{60} \quad (37)$$

當 θ 、 V 及 ω 增加時，彈着偏差及彈着偏差角，亦隨之增加。

當 H 增加時，彈着偏差亦增加，而彈着偏差角則首先增加不大，然後，則略行減小。

彈着偏差及彈着偏差角，與地速無關。

第十一節 彈道諸原素對風速及風角之關係

當風角增加，自 0° 至 90° 及自 180° 至 270° 時，偏流角，彈着偏差及彈着偏差角之絕對數值均增加；但當風角增加自 90° 至 180° 及自 270° 至 360° 時，則均見減少。

偏流角，彈着偏差及彈着偏差角之絕對數值，當風角為 90° 或 270° 時，其數值最大。

$$\sin^2 \omega_{\max} = \frac{U}{V} \quad (39)$$

其近似公式

$$\omega_{\max} \approx 60 \cdot \frac{U}{V} \quad (40)$$

則
$$\partial = \Delta \cdot \frac{U}{V} \quad (41)$$

及
$$\partial^\circ \approx \gamma \times \frac{U}{V} \quad (42)$$

當風角增加自 0° 至 180° 時，地速，炸彈之射程，及投彈角均減少；但當風角增加自 180° 至 360° 時，則均增加。

地速與偏流角對 V ， U ，及風角之關係，用下列公式表示之。

$$W = V \cdot \cos \omega + U \cdot \cos \text{風角}; \quad (45)$$

$$\sin \omega = \frac{U}{V} \cdot \sin \text{風角} \quad (43)$$

其近似公式：

$$\omega \approx 60 \cdot \frac{U}{V} \cdot \sin \text{風角} \quad (44)$$

因風速之增加，偏流角，彈着偏差及彈着偏差角之絕對值，均按風速之比例增加。

在航向風向夾角不變條件下，當風角不超出 90° 至 270° 範圍時，因風速之增加，飛機之地速，炸彈之射程，及投彈角，均減少；但當風角少於 90° 度或多於 270° 度時，則風速增加時，飛機之地速，炸彈之射程及投彈角則均增加。

當風角接近 0° 或 180° 時，飛機航向之變化，能引起偏流角，彈着偏差及彈着偏差角之劇烈變化，但對地速，炸彈

之射程，及投彈角等，則無大影響。反之，當風角接近 90° 或 270° 時，航向之變化，能引起地速，炸彈射程及投彈角之劇烈變化，但對偏流角，彈着偏差，彈着偏差角則幾無影響。

第五章 投彈角之動徑圖解

第十二節 炸彈運動之平均速度

彈道原素之計算，可按照炸彈運動之平均速度進行之。炸彈下墜之平均垂直速度用 V_H 表示之，

$$V_H = \frac{H}{T} \quad (46)$$

炸彈退曳之平均速度，用 V_Δ 表示之，

$$V_\Delta = \frac{\Delta}{T} \quad (47)$$

在靜氣中，炸彈射程之平均速度，用 V_A 表示之，

$$V_A = \frac{A_c}{T} = V - V_\Delta \quad (48)$$

在動氣中炸彈射程之平均速度用 W_A 表示之，

$$W_A = \frac{A}{T} = W - V_\Delta \cdot \cos \omega \quad (49)$$

其近似公式

$$W_A \approx W - V_\Delta \quad (50)$$

炸彈彈道之諸原素，可按下列公式計算之：

$$\Delta = V_\Delta \cdot T; \quad (51)$$

$$A = W_A \cdot T ; \quad (52)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{V_{\Delta}}{V_H} ; \quad (53)$$

$$\operatorname{tg} d_i = \frac{W_A}{V_H} = \frac{W - V_{\Delta} \cdot \cos \omega}{V_H} \approx \frac{W - V}{V_H} \quad (54)$$

在附錄第七及第八圖表內， V_H ， V_{Δ} 及 V_A 之數值，以公里/時計算之。

投彈角之計算，可利用航空算尺（按照33圖所示）按(53)公式進行。

按平均速度計算投彈角之圖解，如(39)圖所示。

第十三節 聯合測風儀

W_A 之數值，可按 V ， V_{Δ} ，磁向，（或磁航跡角） U 及 δ 之數值，利用測風儀以兩種方法進行之：

第一種方法，先以普通方法求得 W 值，然後自 W 值內減去退曳平均速度即得 W_A 值。

$$W_A = W - V_{\Delta}$$

第二種方法係將測風儀之圓心，不置於空速 V 之動徑末端，而置於空中射程平均速度 $V_A = V - V_{\Delta}$ 動徑之末端。

以後工作之進行，係用普通方法以計算地速。但在測風儀上，所得之地速值，非為 W ，而係直接求出 W_A 之數值。在此種情況下，所求得之偏流角值，大於飛機之真實偏流角，而可認為係炸彈之偏流角，因此用 ω_b 表示之。

投彈角之計算可借聯合測風儀背面二刻度圓盤之幫助進行之。（參看第四十圖）

先將活動指針 (f) 對準在內圓盤上投彈高度 H 之刻度 (與炸彈之特徵時間 θ 相符合者)。然後將外圈旋轉至射程平均速度 W_A 之值與活動指針 (f) 相符合時為止。最後，在投彈角之刻度尺上，與不動指針 d) 之線紋相對之刻度，即為所求投彈角 φ 之數值。

附 錄

附錄一 在真空中下墜時間 T。數值表

H	T。	H	T。	H	T。
—	—	1000	15,0	3100	25,9
—	—	1200	15,6	3200	25,8
5	1,0	1300	16,3	3300	25,9
10	1,5	1400	16,9	3400	26,4
15	1,8	1500	17,5	3500	26,7
20	2,0	1600	18,1	3600	27,1
25	2,3	1700	18,6	3700	27,5
50	3,2	1800	19,2	3800	27,8
75	3,8	1900	19,7	3900	28,2
100	4,5	2000	20,2	4000	28,6
150	5,5	2100	20,7	4100	28,9
200	6,4	2200	21,2	4200	29,3
300	7,7	2300	21,6	4300	29,6
400	9,1	2400	22,1	4400	30,0
500	10,1	2500	22,6	4500	30,3
600	11,1	2600	23,0	4600	30,6
700	11,8	2700	23,5	4700	30,9
800	12,8	2800	23,9	4800	31,3
900	13,6	2900	24,3	4900	31,6
1000	14,8	3000	24,7	5000	31,9

附錄二 $\frac{n}{n_0}$ 表 (高空空氣比重與地面空氣比重之比)

H 公尺	$\frac{n}{n_0}$	H 公尺	$\frac{n}{n_0}$
0	1,0000	5000	0,5888
1000	0,8995	6000	0,5297
2000	0,8091	7000	0,4764
3000	0,7278	8000	0,4285
4000	0,6546		

附註：

$\frac{n}{n_0}$ 之值係按“愛衛爾靈哥”公式求得者：

$$\frac{n}{n_0} = 10^{-0,000064 \times H}$$

2. $\rho_0 = 0,123 \text{ Kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4$; $n_0 = 1,206 \text{ Kg} / \text{m}^3$

3. $\rho = \rho_0 \times \frac{n}{n_0}$; $n = n_0 \times \frac{n}{n_0}$

附錄三 θ, C 及 V_{\max} 相互關係表

θ 秒	C	V_{\max} 尺公 / 秒
20,25	0,0705'	644
20,50	0,379	330
20,75	0,684	296
21,00	0,998	271
21,25	1,300	244
21,50	1,601	222
21,75	1,902	203,8
22,00	2,202	189,6
22,25	2,501	177,7
22,50	2,800	168,1
22,75	3,098	159,7
23,00	3,395	152,6

附錄四 A 7-40 式炸彈之教練用彈道表

($\theta=21$ 秒) 當 $V=$ 自(140 至 200 公里/時

H 公尺	V	140公里/時			160公里/時		180公里/時		200/公里時			H 公尺
		T	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	T	
600		11,2	16								11,3	600
800		13,0	24		21		25		29		13,1	800
					30		35		41			
1000		14,7	32	1°30'	39	2°15'	45	2°35'	52	3°00'	14,7	1000
1200		16,1	40		48		56		64		16,1	1200
1400		17,4	47		57		66		76		17,5	1400
1600		18,7	55		66		76		88		18,7	1600
1800		19,9	63		75		87		100		19,9	1800
2000		21,0	71	2°00'	84	2°25'	98	2°50'	112	3°10'	21,1	2000
2200		22,2	79		93		108		124		22,2	2200
2400		23,3	87		102		117		138		23,3	2400
2600		24,2	94		111		129		149		24,2	2600
2800		25,2	102		121		140		161		25,2	2800
3000		26,1	109	2°05'	130	2°30'	151	2°55'	174	3°20'	26,1	3000
3200		27,1	117		140		162		186		27,1	3200
3400		28,0	126		149		173		198		28,0	3400
3600		28,8	133		158		183		211		28,8	3600
3800		29,7	141		168		194		223		29,7	3800
4000		30,5	150	2°10'	177	2°30'	205	2°55'	235	3°20'	30,5	4000
4200		31,3	159		187		216		247		31,3	4200
4400		32,1	168		197		227		259		32,7	4400
4600		32,9	177		208		238		272		33,9	4600
4800		33,7	186		218		249		284		33,7	4800
5000		34,4	194	2°15'	227	2°35'	260	3°00'	296	3°25'	34,1	5000
5200		35,2	202		237		271		308		35,2	5200
5400		35,9	211		247		282		320		35,9	5400
5600		36,7	220		256		293		332		36,7	5600
5800		37,4	228		265		304		344		37,4	5800
6000		38,1	236	2°15'	275	2°35'	315	3°00'	357	3°25'	38,1	6000
6200		38,8	245		285		326		370		38,8	6200
6400		39,5	251		295		337		382		39,5	6400
6600		40,3	262		305		348		394		40,3	6600
6800		41,0	271		315		359		407		41,0	6800
7000		41,6	279	2°15'	326	2°40'	370	3°00'	420	3°25'	41,6	7000

附錄四 B 一式炸彈之教練用彈道表

($t=21$ 秒) 當 $V=$ 自 220 至 280 公里/時

H 公尺	220 公里/時			240 公里/時				260 公里/時				H 公尺
	T	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	T		
600	11,3	29		34		40		45		11,3	600	
800	13,1	42		48		56		63		13,1	800	
1000	14,7	55	3°10'	6	3°35'	72	4°10'	81	4°40'	14,7	1000	
1200	16,1	68		7		89		99		16,1	1200	
1400	17,5	81		9		106		117		17,5	1400	
1600	18,7	95		108		122		133		18,7	1600	
1800	19,9	109		115		128		151		20,0	1800	
2000	21,1	122	3°30'	140	4°00'	156	4°25'	170	4°50'	21,1	2000	
2200	22,2	135		155		172		188		22,2	2200	
2400	23,2	149		170		188		207		23,3	2400	
2600	24,2	163		185		205		224		24,3	2600	
2800	25,2	176		20		221		243		25,3	2800	
3000	26,1	190	3°40'	25	4°05'	238	4°30'	261	5°00'	26,2	3000	
3200	27,1	206		230		254		278		27,1	3200	
3400	28,0	219		245		271		296		28,0	3400	
3600	28,8	232		260		288		314		28,8	3600	
3800	29,7	245		274		305		332		29,7	3800	
4000	30,5	259	3°40'	288	4°10'	322	4°35'	350	5°00'	30,6	4000	
4200	31,3	272		303		338		369		31,4	4200	
4400	32,1	285		319		354		387		32,2	4400	
4600	32,9	299		335		369		404		33,0	4600	
4800	33,7	314		350		385		421		33,7	4800	
5000	34,4	327	3°45'	365	4°10'	402	4°35'	438	5°00'	34,4	5000	
5200	35,2	341		378		417		455		35,2	5200	
5400	35,9	355		393		434		472		35,9	5400	
5600	36,7	369		407		450		490		36,7	5600	
5800	37,4	382		424		466		509		37,4	5800	
6000	38,1	395	3°55'	438	4°10'	481	4°35'	528	5°00'	38,2	6000	
6200	38,8	408		453		498		547		38,9	6200	
6400	39,5	421		468		515		566		39,6	6400	
6600	40,3	435		483		531		584		40,4	6600	
6800	41,0	450		498		548		602		41,1	6800	
7000	41,6	464	3°50'	511	4°10'	563	4°35'	621	5°05'	41,7	7000	
7200	42,3	479		525		580		640		42,4	7200	
7400	43,1	493		540		597		659		43,2	7400	
7600	43,7	507		556		614		678		43,8	7600	
7800	44,4	525		573		631		695		44,4	7800	
8000	45,0	540	3°50'	590	4°15'	649	4°40'	713	5°05'	45,1	8000	
8200	45,7	554		607		667		730		45,7	8200	
8400	46,4	567		623		684		748		46,5	8400	
8600	47,0	581		639		700		766		47,1	8600	
8800	47,6	595		653		715		785		47,6	8800	
9000	48,3	608	3°50'	667	4°15'	730	4°40'	802	5°05'	48,4	9000	
9200	48,9	618		681		746		818		49,0	9200	
9400	49,5	629		695		762		834		49,7	9400	
9600	50,1	640		708		777		849		50,3	9600	
9800	50,7	652		720		791		862		50,8	9800	
10000	51,3	663	3°50'	731	4°10'	805	4°25'	875	5°00'	51,4	10000	

附錄四 C 一10 式炸彈之教練用彈道表

($t=21$ 秒) 當 $V=$ 自 300 至 300 公里/時

H 公尺	300 公里/時			32(公里/時)		34 公里/時		300 公里/時		V 公尺
	T	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	
600	11,3	51		60		65		70		600
800	13,1	71		83		88		95		800
1000	14,7	90	5°10'	106	6°00'	111	6°20'	124	7°05'	1000
1200	16,2	110		128		131		142		1200
1400	17,5	129		150		155		174		1400
1600	18,8	149		170		182		199		1600
1800	20,0	169		191		205		225		1800
2000	21,1	188	5°20'	211	6°00'	228	6°20'	240	7°10'	2000
2200	22,2	207		232		250		274		2200
2400	23,3	228		252		273		298		2400
2600	24,3	247		272		296		313		2600
2800	25,3	266		293		319		348		2800
3000	26,2	286	5°25'	314	6°00'	341	6°30'	373	7°05'	3000
3200	27,1	306		334		365		398		3200
3400	28,0	326		355		388		423		3400
3600	28,9	346		375		411		448		3600
3800	29,7	365		397		435		473		3800
4000	30,6	385	5°30'	419	6°00'	458	6°30'	497	7°05'	4000
4200	31,4	405		440		480		521		4200
4400	32,2	423		461		501		545		4400
4600	33,0	441		481		523		569		4600
4800	33,7	460		502		544		592		4800
5000	34,5	480	5°20'	523	6°00'	565	6°25'	615	7°00'	5000
5200	35,3	500		544		588		638		5200
5400	36,0	519		565		610		661		5400
5600	36,8	539		584		631		685		5600
5800	37,5	559		604		654		709		5800
6000	38,2	578	5°30'	623	6°00'	676	6°25'	732	7°0'	6000
6200	38,9	598		643		700		766		6200
6400	39,7	618		665		722		780		6400
6600	40,4	639		686		743		804		6600
6800	41,1	659		708		765		828		6800
7000	41,8	678	5°30'	731	6°00'	788	6°25'	851	6°55'	7000
7200	42,5	697		753		810		875		7200
7400	43,2	718		774		833		898		7400
7600	43,9	738		794		855		922		7600
7800	44,5	757		815		879		946		7800
8000	45,2	775	5°30'	836	6°00'	901	6°25'	970	6°55'	8000
8200	45,9	794		858		923		994		8200
8400	46,6	814		878		945		1018		8400
8600	47,2	833		896		966		1040		8600
8800	47,8	850		916		986		1060		8800
9000	48,4	866	5°30'	935	5°55'	1007	6°20'	1082	6°50'	9000
9200	49,0	882		955		1029		1101		9200
9400	49,7	899		974		1050		1125		9400
9600	50,3	917		994		1070		1145		9600
9800	50,8	934		1013		1089		1165		9800
10000	51,4	951	5°25'	1031	5°55'	1109	6°20'	1184	6°45'	10000

附錄五 π-25 式炸彈之教練用彈道表

($\theta=21,3$ 秒)

H 公尺	140 公里/時			150 公里/時		160 公里/時		180 公里/時		200 公里/時		220 公里/時		240 公里/時			H 公尺
	T	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	T	
400	9,2	13	1°56'	15	2°10'	17	2°24'	20	2°52'	24	3°36'	28	4°01'	33	4°43'	9,2	400
600	11,3	23	1°10'	25	2°25'	28	2°40'	35	3°10'	39	3°41'	45	4°18'	52	4°58'	11,4	600
800	13,2	33	2°17'	33	2°33'	40	2°50'	47	3°23'	55	3°56'	63	4°29'	72	5°03'	13,3	800
1000	14,8	44	3°20'	48	3°41'	52	3°09'	61	3°39'	71	4°07'	81	4°35'	92	5°15'	14,9	1000
1200	16,2	54	2°31'	59	2°49'	61	3°01'	75	3°35'	87	4°09'	94	4°42'	110	5°30'	16,3	1200
1400	17,3	65	2°38'	71	2°53'	77	3°03'	89	3°38'	103	4°12'	116	4°45'	132	5°21'	17,7	1400
1600	19,0	75	2°41'	81	2°56'	89	3°11'	103	3°42'	119	4°15'	135	4°48'	152	5°27'	19,1	1600
1800	20,2	85	3°3'	93	2°53'	102	3°14'	118	3°45'	135	4°18'	152	4°51'	173	5°30'	20,3	1800
2000	21,3	96	2°45'	105	3°00'	114	3°15'	132	3°46'	151	4°20'	170	4°53'	193	5°33'	21,4	2000
2200	21,5	107	3°17'	115	3°01'	123	3°17'	146	3°48'	165	4°22'	189	4°55'	214	5°34'	22,6	2200
2400	23,6	117	2°45'	125	3°03'	139	3°19'	161	3°50'	184	4°24'	208	4°57'	235	5°36'	23,7	2400
2600	24,6	138	2°49'	135	3°01'	151	3°20'	175	3°52'	202	4°26'	225	4°59'	256	5°38'	24,7	2600
2800	25,7	138	3°50'	151	3°05'	164	3°21'	190	3°53'	218	4°27'	246	5°01'	276	5°39'	25,8	2800
3000	26,6	149	2°51'	163	3°07'	177	3°23'	205	3°55'	234	4°29'	265	5°03'	297	5°40'	26,7	3000
3200	27,6	161	3°53'	175	3°08'	190	3°24'	220	3°56'	252	4°30'	284	5°04'	318	5°41'	27,7	3200
3400	28,6	171	3°54'	187	3°09'	203	3°25'	234	3°57'	269	4°31'	302	5°05'	338	5°41'	28,7	3400
3600	29,5	182	3°55'	199	3°10'	216	3°26'	249	3°58'	285	4°32'	320	5°05'	360	5°42'	29,6	3600
3800	30,4	195	2°55'	212	3°11'	229	3°27'	263	3°58'	301	4°32'	333	5°05'	380	5°42'	30,5	3800
4000	31,3	206	3°57'	224	3°12'	243	3°28'	278	3°59'	318	4°33'	356	5°06'	400	5°42'	31,3	4000
4200	32,1	217	3°58'	236	3°13'	256	3°29'	293	4°00'	334	4°33'	374	5°06'	418	5°43'	32,2	4200
4400	33,0	229	3°59'	248	3°14'	269	3°30'	308	4°00'	350	4°33'	392	5°06'	438	5°43'	33,1	4400
4600	33,9	241	3°00'	261	3°15'	282	3°31'	322	4°01'	367	4°34'	411	5°07'	458	5°43'	34,0	4600
4800	34,6	253	3°01'	274	3°16'	295	3°32'	337	4°02'	384	4°35'	430	5°07'	480	5°44'	34,7	4800
5000	35,4	265	3°01'	286	3°16'	309	3°33'	352	4°02'	401	4°35'	448	5°08'	500	5°44'	35,5	5000
5200	36,2	275	3°02'	298	3°17'	322	3°33'	367	4°03'	418	4°36'	466	5°08'	520	5°44'	36,3	5200
5400	37,0	285	3°02'	310	3°17'	335	3°33'	382	4°03'	434	4°36'	485	5°08'	540	5°44'	37,1	5400
5600	37,8	295	3°03'	322	3°18'	349	3°34'	397	4°04'	450	4°37'	505	5°09'	560	5°44'	37,9	5600
5800	38,6	305	3°03'	334	3°18'	361	3°34'	411	4°04'	478	4°37'	522	5°09'	580	5°44'	38,7	5800
6000	39,3	321	3°04'	347	3°19'	374	3°35'	426	4°05'	492	4°37'	540	5°09'	600	5°43'	39,4	6000
6200	40,1	332	3°04'	359	3°19'	388	3°35'	441	4°05'	506	4°37'	557	5°09'	620	5°43'	40,2	6200
6400	40,9	344	3°05'	372	3°20'	411	3°35'	456	4°05'	520	4°37'	575	5°09'	639	5°43'	41,0	6400
6600	41,6	356	3°05'	384	3°20'	424	3°35'	472	4°06'	535	4°38'	595	5°10'	658	5°43'	41,7	6600
6800	42,3	368	3°06'	397	3°21'	437	3°36'	486	4°06'	550	4°38'	614	5°10'	677	5°43'	42,4	6800
7000	43,1	380	3°06'	410	3°21'	440	3°36'	511	4°06'	565	4°38'	631	5°10'	696	5°43'	43,2	7000

附錄六 π-7 式炸彈之教練用彈道表

($\theta = 23$ 秒)

H 公尺	T 當 V = 40公里/時	110公里/時		140公里/時		150公里/時		160公里/時		180公里/時		200公里/時		220公里/時		240公里/時		T 當 V=270 公里/時
		Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	γ	
600	11,6	39	3°45'	48	5°35'	66	6°17'	72	6°49'	81	8°01'	99	9°23'	117	11°04'	135	12°41'	11,8
800	13,6	51	4°03'	82	5°53'	91	6°30'	100	7°03'	118	8°23'	136	9°31'	160	11°17'	183	12°51'	13,7
1000	15,4	75	4°16'	107	6°07'	118	6°43'	129	7°19'	151	8°36'	173	9°40'	202	11°26'	231	13°00'	15,6
1200	17,1	94	4°29'	133	6°19'	145	6°55'	158	7°31'	183	8°47'	211	10°00'	246	11°35'	290	13°07'	17,2
1400	18,7	114	4°39'	159	6°28'	173	7°04'	189	7°41'	220	8°51'	251	10°09'	290	11°43'	329	13°11'	18,9
1600	20,2	136	4°49'	186	6°38'	203	7°14'	222	7°50'	256	9°05'	290	10°17'	344	11°49'	378	13°17'	20,4
1800	21,8	156	4°57'	214	6°46'	233	7°22'	251	7°57'	290	9°12'	330	10°21'	379	11°53'	497	13°21'	21,8
2000	23,0	177	5°00'	241	6°52'	262	7°21'	284	8°03'	322	9°17'	369	10°27'	424	11°57'	476	13°24'	23,2
2200	24,3	197	5°07'	268	6°56'	290	7°31'	314	8°07'	352	9°21'	408	10°31'	467	12°00'	526	13°26'	24,6
2400	25,6	218	5°11'	294	7°00'	319	7°35'	344	8°11'	399	9°25'	444	10°35'	511	12°03'	573	13°27'	25,9
2600	26,9	238	5°14'	322	7°03'	348	7°38'	376	8°14'	433	9°28'	488	10°38'	556	12°05'	622	13°29'	27,2
2800	28,2	258	5°17'	348	7°06'	378	7°41'	407	8°17'	470	9°31'	526	10°40'	601	12°07'	671	13°29'	28,4
3000	29,4	279	5°20'	376	7°09'	407	7°43'	439	8°20'	500	9°33'	566	10°41'	644	12°08'	720	13°30'	29,7
3200	30,6	300	5°22'	403	7°11'	436	7°45'	470	8°21'	533	9°34'	604	10°42'	687	12°08'	768	13°30'	30,9
3400	31,8	321	5°24'	429	7°12'	465	7°47'	500	8°22'	573	9°35'	642	10°42'	730	12°07'	815	13°29'	32,1
3600	32,9	341	5°25'	455	7°12'	492	7°48'	529	8°22'	601	9°34'	680	10°42'	772	12°07'	861	13°28'	33,2
3800	34,1	361	5°26'	480	7°12'	519	7°47'	558	8°22'	639	9°34'	716	10°41'	815	12°06'	907	13°26'	34,4
4000	35,1	380	5°26'	506	7°13'	547	7°48'	589	8°23'	674	9°35'	744	10°41'	856	12°06'	953	13°25'	35,5

附錄七 7-25 式炸彈之平均下墜速度，退曳平均速度及射程平均速度數值表
 (V_H 公里/時 V_△ 公里/時 及 V_A 公里/時)

H 公尺	140 公里/時			160 公里/時		180 公里/時		200 公里/時		220 公里/時		240 公里/時		
	V _H	V _△	V _A	V _△	V _A	V _△	V _A	V _△	V _A	V _△	V _A	V _△	V _A	V _H
400	157	5,0	133,0	6,5	153,5	8,0	172,0	9,5	109,5	11,0	209,0	13,0	227,0	156
600	190	7,5	132,5	9,0	151,0	10,5	169,5	12,5	187,5	14,0	206,0	16,5	223,5	189
800	217	9,5	130,5	11,0	149,0	13,0	167,0	15,0	185,0	17,0	203,0	19,5	220,5	216
1000	243	11,0	128,0	12,5	147,5	15,0	165,0	17,5	182,5	20,0	200,0	22,0	218,0	242
1200	266	12,0	128,0	14,0	146,0	16,5	163,5	19,5	180,5	22,0	198,0	24,0	216,0	265
1400	286	13,0	127,0	15,5	144,0	18,5	161,5	21,5	178,5	24,0	196,0	26,5	213,5	285
1600	304	14,0	126,0	17,0	143,0	21,0	160,0	23,0	177,0	25,5	194,5	28,5	211,5	302
1800	321	15,0	125,0	18,0	142,0	21,0	159,0	24,0	176,0	27,0	193,0	30,5	209,5	319
2000	335	16,0	124,0	19,0	141,0	22,5	157,5	25,5	174,5	28,5	191,5	32,0	207,5	336
2200	352	17,0	123,0	20,0	140,0	23,5	156,5	27,0	173,0	30,0	190,0	34,0	206,0	350
2400	366	18,0	122,0	21,0	139,0	24,5	155,5	28,0	172,0	31,5	188,5	35,5	204,5	364
2600	380	19,0	121,0	21,0	138,0	25,5	151,5	29,5	170,5	33,0	187,0	37,0	203,0	378
2800	394	19,5	120,5	23,0	137,0	26,5	153,5	31,0	169,0	34,5	185,5	38,5	201,5	392
3000	406	20,5	119,5	24,0	136,0	28,0	152,0	32,0	168,0	36,0	184,0	40,0	200,0	404
3200	418	21,0	119,0	25,0	135,0	29,0	151,0	33,0	167,0	37,0	183,0	41,5	198,5	416
3400	430	22,0	118,0	26,0	134,0	30,0	150,0	34,0	166,0	38,0	182,0	43,0	197,0	427
3600	441	22,5	117,5	26,5	133,5	30,5	149,5	35,0	165,0	39,0	181,0	44,0	196,0	438
3800	451	23,0	117,0	27,0	133,0	31,0	149,0	35,5	164,5	40,0	180,0	45,0	195,0	448
4000	461	23,5	116,5	27,5	132,5	32,0	148,0	36,5	163,5	41,0	179,0	46,0	194,0	458

附錄八 π-7 式炸彈之平均下墜速度，退曳平均速度及射程平均速度數值表
(V_H 公里/時 V_{Δ} 公里/時 及 V_A 公里/時)

H 公尺	V *) V_H	110公里/時		140公里/時		160公里/時		180公里/時		200公里/時		220公里/時		240公里/時		**) V_H
		V_{Δ}	V_A	V_{Δ}	V_A	V_{Δ}	V_A	V_{Δ}	V_A	V_{Δ}	V_A	V_{Δ}	V_A	V_{Δ}	V_A	
200	112	6,0	104,0	9,5	130,5	11,5	148,5	14,5	165,5	17,5	182,5	21,0	199,0	24,5	215,5	110
400	154	9,0	101,0	14,0	126,0	17,0	143,0	20,5	159,5	24,5	175,5	29,0	191,0	34,0	206,0	158
600	187	12,5	97,5	18,0	122,0	22,0	138,0	26,5	153,5	31,5	168,5	36,5	183,5	42,0	198,0	184
800	213	15,0	95,0	22,0	118,0	26,5	133,5	31,0	149,0	36,5	163,5	42,0	178,0	48,0	192,0	210
1000	233	17,5	92,5	25,0	125,0	30,0	130,0	35,0	145,0	41,0	159,0	47,0	173,0	53,5	186,5	230
1200	252	20,0	90,0	28,0	112,0	33,0	127,0	39,0	141,0	45,0	155,0	51,5	168,5	58,5	181,5	249
1400	270	22,0	88,0	30,5	109,5	36,0	124,0	42,0	138,0	48,5	151,5	55,5	164,5	63,0	177,0	257
1600	286	24,0	86,0	33,0	107,0	39,0	121,0	45,0	135,0	52,0	148,0	59,0	161,0	67,0	173,0	288
1800	301	26,0	84,0	35,5	104,5	42,0	118,0	48,0	132,0	55,0	145,0	62,5	157,5	70,5	169,5	298
2000	315	27,5	82,5	38,0	102,0	44,5	115,5	51,0	129,0	58,0	142,0	66,0	154,0	74,0	166,0	312
2200	328	29,0	81,0	40,0	100,0	46,5	113,5	53,5	126,5	61,0	139,0	69,0	151,0	77,0	163,0	324
2400	340	30,5	79,5	42,0	98,0	48,5	111,5	56,0	124,0	64,0	136,0	72,0	148,0	80,0	160,0	336
2600	351	32,0	78,0	44,0	96,0	50,5	109,5	58,0	122,0	66,0	134,0	74,5	145,5	82,5	157,5	347
2800	361	33,0	77,0	45,5	94,5	52,0	108,0	60,0	120,0	68,0	132,0	77,0	143,0	85,0	155,0	357
3000	370	34,0	76,0	47,0	93,0	53,5	106,5	62,0	118,0	67,5	130,5	79,0	141,0	87,0	153,0	366
3200	378	35,0	75,0	48,0	92,0	55,0	105,0	63,5	116,5	71,0	128,5	80,5	139,5	89,0	151,0	374
3400	386	36,0	74,0	49,0	91,0	56,5	103,5	65,0	115,0	73,0	127,0	82,0	138,0	90,5	149,5	382
3600	394	37,0	73,0	50,0	90,0	58,0	102,0	66,0	114,0	74,0	126,0	83,5	136,5	93,0	147,0	390
3800	402	38,0	72,0	51,0	89,0	59,0	101,0	67,0	113,0	75,0	125,0	85,0	135,0	94,5	145,5	378
4000	410	39,0	71,0	52,0	88,0	60,0	100,0	68,0	112,0	76,0	124,0	86,5	133,5	96,0	144,0	406

*) V_H 之值係按 $V=144$ 公里/時 求得者

**) V_H 之值係按 $V=270$ 公里/時 求得者

勘 誤 表

頁 數	行 數	字 數	誤	正
5	8	1	V_{FV}	V_{AV}
5	10	7	V_{FV}	V_F
10	12	1	$\times 3 =$	$g \times 3 =$
14	17	10	墜下	下墜
16	倒2	公式	$t = \frac{x}{V}$	$t = \frac{X}{V}$
18	7	13	空	定
19	倒4	7	綿	線
20	6	公式	$= \frac{\sqrt{2 \times}}{2,8}$	$= \frac{\sqrt{2 \times 700}}{9,8}$
20	14	公式	$= \frac{\sqrt{2 \times}}{2,8}$	$= \frac{\sqrt{2 \times 2600}}{9,8}$
23	倒6	10	定	安
34	12	15	(見17圖)	刪去
35	2	公式	$= \frac{l_2}{0,12}$	$= \frac{12}{0,02}$
38	9	公式	$S_2 = 0,05$ 公尺 ⁹	$S_2 = ,0,05$ 公尺 ²
44	4	3	室	空
44	8	14	其有	· 其原有
46	9	公式	$\operatorname{tg} \rho_2 = \frac{A_1}{H} <$	$\operatorname{tg} \rho \frac{A_2}{H} <$

頁 數	行 數	字 數	誤	正
47	4	2	欵	靜
53	第十二圖		40,11,6= 454m	40·11,6= 46 m
54	第十三圖		$\frac{n}{n_0} = 0,5546$	$\frac{n}{n_0} = 0,6546$
55	9	1	式	刪去
57	8	4	之向	之方向
60	I	1	tg	tg γ_0 ,
68	倒2	5	刻度上	刻度尺上
73	倒1	18	H 2	H =
74	1	1	00公尺	2000公尺
74	9	公式	$W \times T_1$ =9	$W \times T_1$ =920
75	倒7	6	皮	度
77	9	15	對	附
81	16	公式	$W_1 = V -$ $U = 180$	$W_1 = V -$ $U = 190$
85	6	16	至930°	至360°
87	倒5	3	章	空
88	倒7	20	V·T。	V·T
89	7	15	垂平面	垂直平面
90	倒7	公式	CE A	CE=A
90	倒5	9	CD ₁ E角	DC ₁ E角
90	倒4	1	ED ₁	EC ₁

頁 數	行 數	字 數	誤	正
98	10	公式	$\vartheta^{\circ} = \frac{\gamma \cdot \omega}{O}$	$\vartheta^{\circ} = \frac{\gamma \cdot \omega}{60'}$
98	11	公式	$V=28$	$V=280$
100	倒1	1	等	第
106	2	3	max	$\omega m \cdot x$
110	4	6	減	減
110	13	1	減	減
111	倒2	公式	則 $W^2 = V^2 + \dots$	則 $W^2 = V^2 + \dots$
111	倒1	公式	$W = \sqrt{V^2 + U^2 + \dots}$	$W = \sqrt{V^2 + U^2 + \dots}$
122	倒3	公式	$V_A = V - V \Delta$	$V_A = V - V \Delta$
131	倒6	8	道彈	彈道
132	倒4	公式	$tg = \frac{A_0}{H}$	$tg \varphi_0 = \frac{A_0}{H}$
132	倒1	1	570mm	750mm
134	倒6	15	懂與	僅與 θ
135	14	21	投彈	投彈角
136	15	公式	$= \Delta X \frac{\omega}{60}$	$\vartheta = \Delta X \frac{\omega}{60}$
140	2	公式	tg	tg γ
140	3	公式	tg φ	tg φ
140	倒2	11	泗	側

4

轟

炸

學

上海图书馆藏书



A541 212 0019 7466B

中華民國二十九年

轟炸一節

(〇〇〇一—二〇〇〇)

每冊 價壹元捌角

編譯者

同仁

審校者

超生

版所不翻
准有姓

出售處

鐵風出版社

成都東城根街二十三號
成都郵箱二十四號
監編譯科

成都東城根街二十三號
成都郵箱二十四號

3-2297